

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium vlivu povrchové úpravy na kvalitu nanopovlaků.

Study of Influence Surface Adjustment on Quality Nanocoatings

Student:

Jakub Hozík

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Podjuklová Jitka, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Hozík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Studium vlivu povrchové úpravy na kvalitu nanopovlaků
Study of Influence Surface Adjustment on Quality Nanocoatings

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte současné technologie úpravy povrchu substrátu před aplikací povlaků.
2. Prostudujte tvorbu a vlastnosti nanopovlaku.
3. Prostudujte vliv povrchové úpravy substrátu na kvalitu nanopovlaku.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
6. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

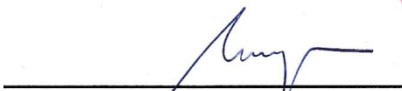
BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**


Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Poděkování

Úvodem své práce bych chtěl poděkovat Ing. Daniele Pavelkové za věnovaný čas a pomoc při experimentálních pracích.

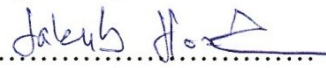
Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jitce Podjukové, CSc. za odborné vedení a cenné rady.

Nemohu opomenout poděkovat mojí rodině za podporu a trpělivost při mém studiu.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě18.5.2015.....


..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18.5.2015



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Hozík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nemile 105

789 01 Zábřeh

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HOZÍK, J. *Studium vlivu povrchové úpravy na kvalitu nanopovlaků: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 60 s. Vedoucí práce: PODJUKLOVÁ, J.

Předmětem mé bakalářské práce je studium vlivu povrchové úpravy na kvalitu nanopovlaků. V první teoretické části jsem se tedy zabýval povrchem materiálu. V další kapitole jsem rozebral některé mechanické nebo chemické úpravy povrchu. Dále jsem se zabýval problematikou nanotechnologií a nanopovlaků. V poslední kapitole jsem se věnoval některým důležitým kvalitativním vlastnostem povrchu pro následnou aplikaci nátěrového systému kterými jsou čistota a přilnavost. Nakonec jsem se zmínil o zkouškách přilnavosti. Experimentální část se zabývá přilnavostí transparentního, vodou ředitelného nátěru s obsahem nanočástic na vzorcích z hliníkového a standardního ocelového plechu s povrchovou úpravou odmaštění a také následné zdrsnění povrchu. Přilnavost byla zkoumána před a po expozici 100 hodin v korozní komoře.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HOZÍK, J. *Study of Influence Surface Adjustment on Quality Nanocoatings: Bachelor's Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2015, 60 p. Thesis head: PODJUKLOVÁ, J.

Subject of my bachelor thesis is study Study of Influence Surface Adjustment on Quality Nanocoatings. In the first part I then dealt with the material surface. In the next chapter I focused on some mechanical or chemical surface adjustments. I also dealt with the issue of nanotechnology and nano- coatings. The last chapter is devoted to some important qualitative properties of the surface for the subsequent application of the coating system, which is purity and adhesion. Finally, I mentioned the testing of adhesion. Experimental part deals with adhesion of a transparent, water-borne paint containing nanoparticles on samples of aluminum and a standard steel sheet coated with the subsequent degreasing and surface roughening. Adhesion was examined before and after exposure to 100 hours in the corrosion chamber.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

mm	milimetr
μm	mikrometr
nm	nanometr
MPa	megapaskal
Ra	průměrná aritmetická úchylka profilu [μm]
$^{\circ}\text{C}$	stupně Celsia
kg	kilogram
Ra	průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu [μm]
Rz	maximální výška profilu [μm]
Rq	kořenová průměrná kvadratická odchylka profilu [μm]
Rp	největší výška výstupku profilu [μm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu [μm]
Rsk	šikmost posuzovaného profilu [-]
Rku	špičatost posuzovaného profilu [-]
Rlo	rozvinutá délka profilu [mm]
λc	filtr profilu
pH	stupnice kyselosti
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní norma

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK.....	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 POVRCH.....	11
1.1 Geometrické vlastnosti	11
1.2 Fyzikální vlastnosti	12
1.3 Chemické vlastnosti.....	13
1.4 Drsnost povrchu.....	13
2 ÚPRAVY POVRCHŮ	14
2.1 Mechanické úpravy povrchů	14
2.1.1 Otryskávání	14
2.1.2 Broušení	18
2.1.3 Leštění	19
2.1.4 Kartáčování	19
2.1.5 Omílání.....	19
2.1.6 Další způsoby	20
2.2 Chemické úpravy povrchů.....	20
2.2.1 Odmašťování.....	20
2.2.2 Moření	22
3 NANOPOVLAKY A NANOTECHNOLOGIE	23
3.1 Nanotechnologie.....	23
3.2 Hlavní metody přípravy kovových nanočástic:	23
3.3 Nanopovlaky.....	24
4 KONTROLA JAKOSTI POVLAKU	25
4.1 Celkový vzhled	25
4.2 Čistota povrchu.....	25
4.3 Přílnavost.....	26
5 Návrh metodiky experimentálních prací.....	28
5.1 Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému.....	28
5.2 Aplikace nátěrových systémů	28
5.3 Zkoušky nátěrových systémů	28

6 Popis experimentálních prací.....	29
6.1 Příprava vzorků	29
6.1.1 Vzorky typu A-48	29
6.1.2 Vzorky typu R-48.....	29
6.1.3 Označování vzorků.....	30
6.2 Měření drsnosti povrchu vzorků.....	32
6.3 Nanášení a měření tloušťky nátěrového systému	36
6.4 Mřížková zkouška, zkouška křížovým řezem	39
6.5 korozní zkouška.....	43
6.6 Mřížková zkouška, zkouška křížovým řezem po korozní zkoušce	47
7 Celkové zhodnocení.....	53
7.1 Zhodnocení drsnosti povrchu	53
7.2 Zhodnocení suchých a mokrých tloušťek nátěrů.....	54
7.3 Zhodnocení zkoušek přilnavosti před korozní zkouškou	54
7.4 Zhodnocení korozní zkoušky	55
7.5 Zhodnocení výsledků zkoušek přilnavosti po korozní zkoušce	56
ZÁVĚR	57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	59

ÚVOD

Ochrana materiálů proti korozi je trvale jedním z velice důležitých témat. Ruku v ruce s rozvojem průmyslu jde i neustálé vytváření nových a nových ochranných materiálů a technologií jako jsou například povlaky na bázi nanočástic křemíku. Spekuluje se o jejich ochranných schopnostech jako schopnost rozpouštět nečistoty, hydrofilie, hydrofobie a dokonce se hovoří i o schopnosti samopravovací. Jde o to, že pokud je materiál narušen ať mechanicky poškrábán nebo chemicky korozí, měl by vzniklou rýhu sám zacelit. Jedním z velkých úskalí těchto povlakových materiálů je ovšem to, že je dosud jen těžko vyrobit ze zdravotně nezávadných materiálů. V současnosti však na tomto problému vědci pracují. Využití těchto povlakových materiálů má velice široké spektrum, zejména ve velmi agresivních prostředích. Přínosem by mohli být i ve vesmírném programu zejména díky jejich teplotní odolnosti. Další možnosti využití nanonátěru je například k čištění vzduchu. Po aplikaci nanonátěru na fasádu budovy dochází k filtraci nebezpečných virů a bakterií, což dokazují dvě Ostravské školky, kde byla fasáda takto ošetřena. Během prvního měsíce od aplikace klesla nemocnost u dětí o skoro 40 % i přes probíhající chřipkovou epidemii.

V neposlední řadě by mohla říct své nanotechnologie i v lékařství. Vědci mluví o nanobotech, kteří budou lidem implantováni do krevního řečiště. Tito nanoboti by měli mít v sobě vakcíny proti všem možným onemocněním, která by hned v zárodku detekovali, diagnostikovali a posléze i vyléčili.

V dnešní době je snaha vše minimalizovat, tudíž je dost pravděpodobné, že se v budoucnu nanotechnologie stane nedílnou součástí životů nás všech.

1 POVRCH

Povrchem materiálu rozumíme obecně rozhraní dvou rozdílných prostředí, ať už plynných, kapalných nebo pevných – kovových či nekovových. Reálný polykrystalický materiál se ve styku s okolním prostředím, rychle pokrývá vrstvami molekul a atomů jiných látek, které adsorbuje z okolí. [1] [2]

Studium struktury povrchu se musí zabývat různými rozměry, počínaje velikostmi atomů a konče makroskopickým popisem. Dále můžeme hodnotit i poruchy, interakci s okolním prostředím a v neposlední řadě vliv působení vnějších sil. Z toho důvodu je nezbytné pohlížet na tuto problematiku z různých hledisek. Podle základních vlastností jsou na povrch tři úhly pohledu. [1]

Základní dělení povrchů:

- geometrické vlastnosti,
- fyzikální vlastnosti,
- chemické vlastnosti. [1]

1.1 Geometrické vlastnosti

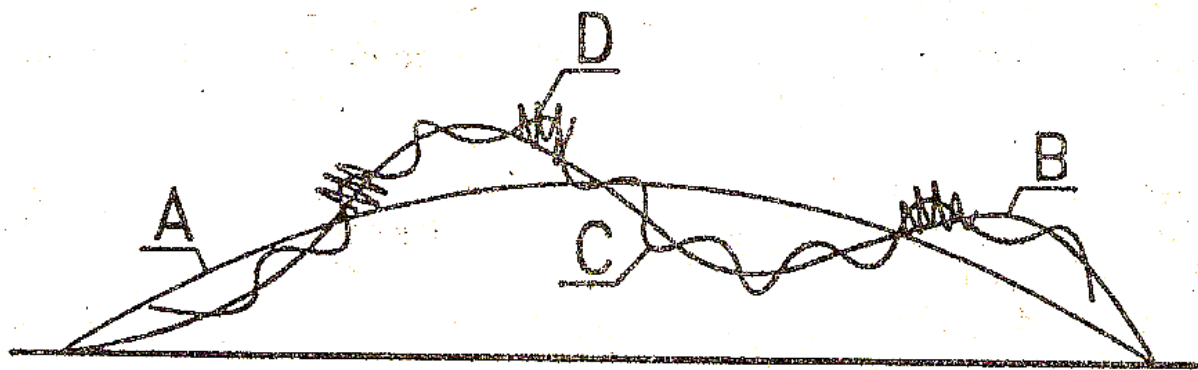
Geometrické vlastnosti povrchu značně ovlivňují přilnavost a trvanlivost následných nátěrových hmot. Je zapotřebí co nejvíce eliminovat výskyt nerovností, tedy například trhlin a nepravidelných rýh, k zajištění dobré přilnavosti a trvanlivosti nátěrových hmot. Geometrické nerovnosti jsou nejčastěji důsledkem výrobních procesů. [1]

A – mimořádné nerovnosti (makronerovnosti) – náhodné trhliny, rýhy, nerovnosti vzniklé kovááním nebo odléváním.

B – vlnitost povrchu – nerovnost vzniká hlavně při obrábění důsledkem chvění, periodicky se opakuje.

C – drsnost povrchu (mikronerovnost) – odvíjí se od technologického zpracování, periodicky se opakuje.

D – ultramikronerovnosti – zapříčiněny snahou krystalického povrchu dosáhnout co nejstabilnějšího stavu. [2]



Obr. 1 – Povrch [1]

1.2 Fyzikální vlastnosti

Typickou fyzikální vlastností povrchu je jeho emisivita, tedy schopnost uvolňovat za určitých podmínek elektrony z povrchu materiálu. Toho lze dosáhnout buď ohřevem na vysokou teplotu (tepelná emise), nebo vnějším dopadem elektronů (sekundární emise). Emisní vlastnosti jsou ve značné míře ovlivněny adsorbovanými plyny a nečistotami. Emisivitu je možné značně zvýšit pomocí takzvaných umělých adsorpčních vrstev, vytvářejících na povrchu materiálu příznivé elektrické pole. [1]

Při dopadu elektromagnetického vlnění na povrch tělesa se energie rozdělí na:

- energii odraženou,
- energii propustnou,
- energii pohlcenou. [2]

Vzhledem k minimálnímu podílu prošlého elektromagnetického vlnění jeho vliv zanedbáváme. Uvažujeme tedy pouze podíl z odražené energie (poměrná odrazivost) a podíl z pohlcené energie (poměrná pohltivost). Jejich poměr je rozdílný s ohledem na materiál a drsnost povrchu. [1] [2]

1.3 Chemické vlastnosti

Obsah této podkapitoly je zpracován s využitím zdroje [1].

Chemické vlastnosti povrchu zahrnují hlavně změny chemického složení nebo oxidačních stavů prvků na rozhraní mezi prostředími. Zásadní vliv na změny povrchu čistého kovu mají adsorpce a chemisorpce. [1]

Dělení:

- *Adsorpce* – Molekuly jsou k povrchu vázány adhezními (van der Waalsovými) silami. [1]
- *Chemisorpce* – Molekuly jsou k povrchu vázány chemickou vazbou (vazba sdílením nebo přenosem elektronu). [1]

V kapalném prostředí je základem změn kombinace procesů anodické oxidace (rozpuštění kovů) a katodické redukce (redukce kyslíku nebo vylučování vodíku). [1]

1.4 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je charakterizovaná jako souhrn nerovností povrchu s relativně malými vzdálenostmi, které obvykle obsahují nerovnosti vzniknuté následkem použité metody výroby a jiných vlivů. V současné době hodnocení drsnosti povrchu popisuje norma ČSN EN ISO 4287. Tato norma vychází z hodnocení drsnosti povrchu vzhledem k středové čáře. Od této čáry se určují odchylky profilu. Všeobecně je v normě celá řada parametrů drsnosti, které se podílejí na popisu mikrogeometrie povrchu s rozdílnou mírou výstižnosti i důležitosti. Já se však zaměřím jen na mnou naměřené. [16]

- Ra – Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm]
- Rz – Největší výška profilu [μm]
- Rq – Průměrná čtvereční odchylka profilu [μm]
- Rp – Největší výška výstupku profilu [μm]
- Rv – Největší hloubka prohlubně profilu [μm]
- Rsk – Šikmost posuzovaného profilu [-]
- Rku – Špičatost posuzovaného profilu [-]
- Rlo – Rozvinutá délka profilu [mm] [15]

2 ÚPRAVY POVRCHŮ

Úpravy povrchů zahrnují technologie, jejichž účelem je zbavit povrch nečistot a dosáhnout technicky čistého povrchu. Povrchy kovových materiálů mohou být znečištěny nečistotami vázanými k povrchu adsorpcí, tedy pouze adhezními silami. Tyto nečistoty jsou například zbytky mazadel, prach a podobně. Pro odstranění těchto nečistot používáme například technologii odmašťování nebo ultrazvukové čištění, tedy technologie nemění profil povrchu. Další skupinou nečistot jsou ty, které jsou k povrchu vázány chemickými silami, tedy chemisorpcí. Jsou to například oxidy, rez nebo okuje. Pro jejich odstranění aplikujeme technologie jako je broušení, otryskávání nebo moření. Tyto technologie profil povrchu změní. [3]

Mechanickou úpravu povrchu z hlediska nanášení nátěrové hmoty tedy provádíme hlavně za účelem očištění povrchu od nečistot a vytvoření ideálních podmínek pro zakotvení povlaku, tj. snažíme se vytvořit kotvicí profil a tím zajistit co nejlepší přilnavost. [2]

2.1 Mechanické úpravy povrchů

Předběžnými mechanickými úpravami povrchu nedáváme požadovaný jmenovitý rozměr, ale snažíme se dosáhnout určité kvality povrchu obvykle hodnocenou drsností povrchu, za účelem zajištění přilnavosti následných povlaků, zvýšení odolnosti vůči korozi a mechanickým vlivům nebo zlepšení mechanických vlastností. [1]

Mezi nejrozšířenější způsoby mechanických úprav povrchu patří broušení, leštění a kartáčování, nejčastěji prováděné z důvodu následné aplikace povlaku (například galvanickým pokovením). [1]

2.1.1 Otryskávání

Otryskávání je způsob mechanické úpravy povrchu, při kterém dochází k vrhání (tryskání) tryskacího materiálu proti materiálu otryskávanému a následnému dopadání na jeho povrch, za účelem očištění od korozních produktů, dodání vhodné drsnosti povrchu a jeho zpevnění. Tryskací materiál může být vrhán na povrch otryskávaného materiálu buď mechanicky (za pomoci vrhacího kola) nebo pneumaticky (za pomoci stlačeného vzduchu). [1] [3]

Výkon otryskávání neboli úběr ovlivňujeme:

- druhem tryskaného materiálu,
- velikostí zrn,
- tlakem,
- úhlem a vzdáleností tryskání,
- rozměrem trysky. [1]

Stupně otryskání:

- Sa 1 - lehké otryskání,
- Sa 2 - důkladné otryskání,
- Sa 2^{1/2} – velmi důkladné otryskání,
- Sa 3 – otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch. [4]

Nejčastěji používaná otryskávací média:

- Křemičitý písek – jedná se o velmi levný tryskávací materiál, jeho zrna mají velmi ostré hrany, je používán pro pneumatické tryskání za tlaku nepřevyšujícího 0,3 MPa. Při vyšších tlacích dochází k tříštění a následnému rozprašování což je nebezpečné pro obsluhu z důvodu vdechování částic a jejich usazování v plicích (silikóza). [3]



Obr. 2 - Křemičitý písek [5]

- Litinové granuláty a drtě – materiál, mnohem dražší než křemičitý písek, ale také mnohem trvanlivější (až 60x). Používá se při tlaku do 0,7 MPa. Má lepší úběrové schopnosti než křemičitý písek. Z těchto důvodů je práce s litinovou drtí hospodárnější než s křemičitým pískem a také bezpečnější pro obsluhu - nedochází k tříštění a následnému rozprašování. [1] [3]



Obr. 3 - Litinová drť [6]



Obr. 4 - Litinový granulát [6]

- Brusiva – nejčastěji karbid křemíku nebo umělý korund. Oproti křemičitému písku mají ostřejší zrno, jsou trvanlivější a více stejnoměrné. Jejich provoz je mnohem méně prašný. [3]



Obr. 5 - Hnědý korund [7]

- Sekaný drát – ze zmiňovaných materiálů je nejpevnější. Používá se patentovaný drát s pevností 160 MPa, ale i pevnější dráty s pevností 500 MPa i více. Je vhodný pro mechanické otryskávání a pro tryskáče s mechanickými tryskacími koly. Materiál je ve formě malých válečků, jejichž průměr je roven jejich výšce. V provozu je hospodárnější než litinová drť, přesto že je asi 5x dražší. Méně opotřebovává metací kola a při tryskání se dále neštěpí nebo nedrtí. Má životnost až 8000 cyklů. Nejčastěji se používá nerezový nebo zinkový drát. [3] [2]



Obr. 6 - Sekaný zinkový drát [8]

- Balotina – jsou to skleněné kuličky získávané granulací skla. Vhodné pro vyhlazování a leštění v suspenzích po předchozím otryskání brusivem. Otryskáním balotinou lze dosáhnout snížení drsnosti povrchu až o 50%. Na povrchu materiálu se vytvoří drobné důlky, a tím se zvýší korozní odolnost.

Díky svému kulatému tvaru a dost nízké pevnosti, jsou skleněné kuličky velice šetrné k základnímu materiálu. [3]



Obr. 7 - Skleněná balotina [9]

- Speciální materiály – používají se pro dosažení speciálních povrchů, jako jsou například matné nebo pololesklé povrchy u materiálů jako jsou měď, cín hliník nebo třeba zinek. Nejčastěji jsou to drcené pecky nebo skořápky ořechů, případně drcené plastické hmoty. [3]

2.1.2 Broušení

Broušení se obvykle používá jako úprava před následným leštěním nebo kartáčováním. Tyto technologie se používají jako úprava před nanesením povlaku, ale i jako úprava finální pro dosažení vysokého lesku. Při broušení dochází k postupnému úběru materiálu a k odstranění hrubých nerovností povrchu, za použití brusných kotoučů s pevnou nebo volnou vazbou abraziva nebo brusných pásů. [1] [3]

Podle stupně nerovnosti lze broušení rozdělit na:

- hrubé broušení (hrubování) – zrnitost 24 – 80,
- hlazení – zrnitost 100 – 150,
- jemné hlazení – zrnitost 200 – 240, přimazávání za účelem snížení tření,
- předlešťování – zrnitost 280 – 320,
- jemné předlešťování – zrnitost 400 – 600. [3]

2.1.3 Leštění

Leštění je velmi podobné broušení, takže lze jen těžko určit hranici mezi těmito technologiemi. Při leštění dochází k minimálnímu úběru materiálu a také k plastické deformaci povrchové vrstvy, a tím k odstranění nejjemnějších stop po předchozích operacích. Touto technologií lze dosáhnout velmi nízkých drsností až 0,1 Ra. Leštící kotouče mohou být plstěné nebo látkové, nejsou však opatřeny brusivem. Leštící prostředek ve formě pasty se nanáší na obvod kotouče. Leštěním dosáhneme požadovaného lesku povrchu a to i na galvanicky pokovených materiálech. Pro první leštění se používá tvrdších látkových kotoučů a mastnější hrubší pasty za vyšších obvodových rychlostí. Dolešťování se provádí měkčími kotouči za použití sušších jemnějších past a nižších obvodových rychlostí. [1] [3]

2.1.4 Kartáčování

Kartáčováním lze z povrchu odstranit různé nečistoty jako je koroze nebo staré nátěry, ale také se využívá ke zjemnění a sjednocení povrchu před následným leštěním, tedy odstranění oxidické vrstvy po broušení. Používají se k tomu kartáče z různých materiálů, nejčastěji z rovných nebo zapletených ocelových, mosazných nebo bronzových drátů, podle kartáčovaného materiálu. Pro kartáčování před leštěním pak použijeme kartáče z jemných pružných přírodních vláken. [1] [3]

2.1.5 Omílání

Technologie založená na vzájemném působení (omílání) omílaných těles, kapaliny a brusiva v rotačním nebo vibračním bubnu či zvonu. Vhodné pro povrchové úpravy malých součástí, tvarově nenáročných, nejlépe oblých tvarů, do 1 kg hmotnosti. Těžší součásti lze rovněž omílat, ale musí se v omílacím zařízení upevnit. Mezi nesporné výhody omílání patří levný provoz, absence nutnosti ručního broušení a v neposlední řadě schopnost zpevnit povrch a zvýšit jeho korozní odolnost. Omílání má však i své nevýhody. Nerovnoměrnost úběru, který je největší na hranách, což u některých součástí znamená jejich poškození. Vysoké riziko poškození tvarově členitých součástí je další nevýhoda. Tuto technologii využíváme zejména k odjehlení výrobků, vyleštění povrchu, odstranění zbytků koroze nebo přídavného materiálu po svařování, a k již zmíněnému zpevňování povrchu. [1] [3]

2.1.6 Další způsoby

- Opalování plamenem – používá se k odstranění rzi na rozměrných a těžkých součástech. Speciálním hořákem dojde k ohřátí povrchu a korozních produktů. Korozní produkty mají jinou teplotní roztažnost než základní materiál, proto dojde k jejich uvolnění a následnému od fouknutí tlakem plynů. [1]
- Oklepávání – opět technologie vhodná k odstranění okují nebo korozních produktů na masivních rozměrných součástech. Oklepávací zařízení pohybují kladívky a trny, které naráží do povrchu. Většinou jsou tato zařízení poháněna pneumaticky. Je také možné použít speciální kladívkový kotouč a brusku s ohebnou hřídelí, což je způsob rychlejší, ale musí být prováděn ručně. [1]
- Vodní paprsek – touto technologií lze odstranit hrubé nečistoty i staré nátěry. Jedná se o oplach vodou o vysoké výtokové rychlosti. Je nutno použít speciálních vysokotlakých zařízení. Další problém je zde s čištěním odpadních vod, kam oddělené nečistoty společně s vodou odtékají. [1]

2.2 Chemické úpravy povrchů

Chemické úpravy povrchů jsou založeny na reakci chemického činidla s mastnotami a nečistotami na povrchu materiálu. Obvykle tyto úpravy zařazujeme před následným nanášením různých povlaků. Čistota povrchu se odvíjí od druhu povlaku, pro který povrch připravujeme. Velmi choulostivé na čistotu povrchu jsou galvanické povlaky, naopak méně choulostivé jsou nátěrové hmoty. Do této skupiny úprav patří například technologie odmašťování, moření nebo dekapování. [3]

2.2.1 Odmašťování

Jde o technologický proces, jehož účelem je zbavit povrch přebytečných mastnot a tím zajištění co nejlepší přilnavosti následných povlaků. Odmašťovací prostředky mají z povrchu uvolnit nečistoty vázané jak fyzikální adsorpcí, tak adhezními silami a převést je do emulze nebo roztoku a tím zabránit jejich opětovnému vyloučení na povrchu. Po odmašťování je vhodné materiál opláchnout horkou vodou a tím odstranit zbytky odmašťovadel a jiných nečistot. Dále je nutno udržovat odmašťovací lázně čisté například za pomoci přepadu a tím odvodu nečistot na hladině. Tím vyvstává problém s odvodem odpadních vod, které musí projít přes energeticky náročné neutralizační stanice. [1] [2] [3]

Dělení dle způsobu aplikace:

- odmašťování ponorem,
- odmašťování postřikem,
- odmašťování v parách,
- odmašťování elektrolytické,
- odmašťování ultrazvukem,
- mechanické a tepelné. [1]

Dělení podle odmašťovacího prostředku:

- Odmašťování v alkalických roztocích – obsahují louh nebo sodu, popřípadě tenzidy zlepšující kvalitu odmaštění a urychlující celý proces. Dochází ke zmýdelňování rostlinných a živočišných tuků a následný přechod do roztoku. Neefektivní pro odmaštění minerálních mastnot (vazelíny, oleje), tyto mastnoty lze odstranit za vyšších teplot. [1] [2]
- Odmašťování v organických rozpouštědlech – rozšířený, jednoduchý a levný způsob s nevýhodou náročné likvidace rozpouštědel. Nejpoužívanější jsou petrolej, benzin, aceton, toluen. [1] [2]
- Odmašťování elektrolytické – velmi účinné, v podstatě se jedná o alkalické odmašťování s průchodem elektrického proudu. Dělíme na katodické, anodické, katodicko – anodické. [1] [2]
- Odmašťování v neutrálních roztocích – vodné roztoky různých saponátů vhodné zejména k ručnímu čištění. [2]
- Vysokotlaké čištění – kombinace vody o tlaku 4-18 MPa a různých čistících prostředků popřípadě písku. [2]
- Parní čištění povrchu – tepelný a tlakový čistící účinek páry v kombinaci s dávkami odmašťovacího prostředku. [2]
- Odmašťování v emulzních roztocích – emulze je směs organických rozpouštědel s pomocnými látkami, emulgátory a vodou. Principem je rozpuštění mastnoty rozpouštědlem a její následné odplavení umožněné emulgátorem. [2]
- Odmašťování opalem – spálení mastnot a nečistot na plynné zplodiny, vhodné pro rozměrné plechy, teplota v rozmezí 300 – 450 °C. Je zde možnost deformace plechu. Oxidické vrstvy po opalování je nutno odstranit mořením nebo otryskáním. [3]

2.2.2 Moření

Moření je chemický proces, kdy dochází k odstraňování oxidických vrstev z povrchu materiálu za pomoci kyseliny, v níž je materiál ponořen. Díky pórovitosti oxidického povlaku, do něj kyselina proniká až na fázové rozhraní, kde se naleptává pod povlak, čímž dochází k uvolňování vodíku ve formě bublinek z materiálu. Podleptání povlaku v kombinaci s tlakem uvolněného vodíku zajišťují oddělení oxidické vrstvy od materiálu. Po moření je nezbytné opláchnout materiál v teplé a studené vodě. [2] [3]

Nejčastěji používané kyseliny k moření:

- Kyselina sírová – koncentrace 5 – 20 %, při teplotě 40 – 70 °C, v průběhu moření dochází ke zvyšování obsahu železa tzv. vyčerpávání lázně, tím klesá mořící účinek.
- Kyselina chlorovodíková – o koncentraci 5 – 17 %, při teplotě 20 °C, při vyšších teplotách způsobují agresivní výpary korozi okolního prostředí. [3]
- Kyselina fosforečná – o koncentraci 15%, při teplotě 60 – 80 °C, současně dochází k pasivaci a odmaštění povrchu, ale nízká účinnost lázně. [3]

3 NANOPOVLAKY A NANOTECHNOLOGIE

3.1 Nanotechnologie

Nanotechnologie představuje technologické odvětví zabývající se strukturami složených z částic o velikosti nanometrů, přesněji za nanočástice považujeme objekty o rozměrech 1 - 100 nanometrů. Metody přípravy a chemické modifikace nanočástic jsou v současnosti intenzivně rozvíjeny a využívány. Těmito postupy, které kombinují poznatky z chemie, fyziky nebo biologie, lze řídit nejen tvar, ale i velikost připravovaných nanočástic a dosahovat tak ojedinělých optických, elektronických a katalytických vlastností připravených materiálů. [10]

Poprvé využívají nanočástice již staří Egypťané a Číňané před skoro 2500 lety. Z této doby je nám znám pojem tzv. rozpustné zlato využívané k barvení skla a keramiky, tedy jako jakýsi historický nanonátěr, ale také se využívalo k léčení například srdečních onemocnění. Velmi známé jsou také Lukurgovy poháry uložené v Britském muzeu v Londýně. Tyto poháry jsou za normálního světla zelené, při průchodu světla vnitřkem poháru však změni barvu na červenou. Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že tento jev způsobují částice zlata a stříbra o velikosti asi 70 nm obsažené ve skle. Můžeme tedy hovořit o nanotechnologii staré přes 1600 let. Počátek moderní nanotechnologie datujeme do 20. století, kdy Richard Feynman navrhl směr pro tuhle rychle se rozvíjející vědeckou oblast. [11]



Obr. 8 - Lukurgovy poháry [11]

3.2 Hlavní metody přípravy kovových nanočástic:

- Fyzikální metoda – mechanickým dělením kovových agregátů, jde o mletí kovových hrudkových materiálů, částice připravené tímto způsobem mají velikost asi 10 nm. Druhá je metoda odpařování kovu, její pomocí je obtížné získat částice požadované velikosti. [11]

- Chemická metoda – nukleací a růstem zárodku, metoda také nazývaná „zdola nahoru.“ Redukcí solí kovů dojde k vzniku atomů kovů, následnými srážkami s ionty a dalšími atomy kovů dochází k vzniku stabilního zárodku kovu. Mnohem častější metoda, kde je možné kontrolovat velikost zárodků. [11]

3.3 Nanopovlaky

Běžný nátěr je složen z organických molekul s dlouhými uhlíkovými řetězci. Naproti tomu nanonátěry obsahují anorganické křemíkové částice, vázané k sobě organickými polymery. Díky jejich velikosti jsou křemíkové částice propojeny velmi hustě, a tím zvyšují tvrdost a otěruvzdornost nanonátěru. Kromě ochrany proti běžným ničivým mechanickým vlivům, jsou nanonátěry schopny velmi dobře ochránit povrch proti korozi, vodní páře nebo chemikáliím. Mezi další užitečné vlastnosti nanonátěrů patří například jejich samočistící schopnost, tedy schopnost, za přítomnosti nějakého vnějšího vlivu jako je například sluneční záření, rozkládat nečistoty ulpělé na povrchu, nebo dokonce schopnost sami sebe opravovat. [12] [13]

Nanonátěry a nanopovlaky mají díky výše zmíněným schopnostem a vlastnostem širokou škálu využití. Hojně nacházejí uplatnění v automobilovém průmyslu, kde dochází k produkci speciálních barev tvořených nanočásticemi a prášky využívaných převážně k lakování karoserie. Tyto barvy jsou schopny po mechanickém nebo chemickém poškození či znečištění automaticky sami sebe zacelit tím, že uvolní barevné nanočástice, které se následně rozprostřou po poškozené ploše a tím ji zacelí. [13]

Další uplatnění nacházejí nanonátěry v leteckém průmyslu. Zvyšují životnost, skluz a zlepšují kvalitu povrchu, a tím zvyšují korozní odolnost vrstev proti důlkové korozi, exfoliační korozi, oxidaci nebo teplotní korozi. Mohou sloužit také jako teplotní bariéry pro rychlostní převodovky dopravních prostředků nebo letadel. V současnosti jsou ve vývoji zdravotně nezávadné nanopovlaky pro vzdušný a kosmický prostor, jejichž smyslem je chránit plášť letadla nebo raketoplánu proti korozi nebo mechanickému poškození. [13]

V oblasti optiky nebo všeobecné aplikaci na skleněný povrch mají nanonátěry díky svým hydrofobním vlastnostem také své využití. Po aplikaci nanopovlaku s částicemi oxidu křemičitého na povrch skla nedochází ke kondenzaci vodní páry a povrch se tedy nerosí. Toho využívá i automobilový průmysl k ochraně čelních skel, kdy se voda při kontaktu s nanopovlakem shlukuje do velkých kapek a odtéká. [13]

4 KONTROLA JAKOSTI POVLAKU

Při aplikaci povlaku na povrch materiálu předpokládáme, že výsledný výrobek bude splňovat určité požadavky. Největší důraz je kladen na funkčnost, životnost a korozní odolnost povlaku. Proto je nedílnou součástí výrobního procesu systematická kontrola jakosti. Jakost můžeme sledovat mezi jednotlivými operacemi technologického procesu, nebo až na jeho konci, kdy hovoříme o výstupní kontrole. Na základě těchto kontrol se hodnotí splnění požadavků na jakost povlaku, jakost povrchové úpravy a odhadují se očekávané funkční a ochranné vlastnosti. [1]

Oblasti kontroly a předměty jejich hodnocení:

- Vstupní a mezioperační kontroly – hodnocení stupně odmaštění, čistoty a drsnosti povrchu nebo tloušťku nezaschlého nátěru.
- Výstupní kontrola – obecně se zde hodnotí vzhledové vlastnosti jako barva, lesk, matnost, zobrazivost a celková homogenita povrchu.
- Kontrola funkčních vlastností – hodnocení vlastností povlaku jako přilnavost, drsnost, tvrdost, pevnost, deformační odolnost, otěruvzdornost, složení a struktura povlaku, nasákavost a elektrické vlastnosti.
- Ochranné vlastnosti – patří zde tloušťka, pórovitost, a v neposlední řadě odolnost proti korozi. [1]

4.1 Celkový vzhled

Nejdůležitějším aspektem je zde celková homogenita povrchu, zkoumaná ve většině případů vizuální kontrolou. Vizuální nehomogenita povrchu je nejčastěji popisována slovně nebo vyjádřena číselně a to buď počtem vad, a nebo procenty vadné plochy. Touto metodou je možné nejčastěji určit vady jako odlupující se povlak, místa bez povlaku, trhliny, póry, puchýře, nerozetřené kapky a prameny, ulpělé nečistoty, průnik korozních zplodin, nebo vlastní korozní zplodiny povlaku. [1]

4.2 Čistota povrchu

Čistota povrchu zásadním způsobem ovlivňuje funkční vlastnosti povrchu tedy jeho přilnavost, pórovitost i korozní odolnost povlaků. Pro různé povrchové úpravy jsou rozdílné požadavky na čistotu povrchu, například v případě aplikace organických nátěrových hmot je možné tolerovat mírné znečištění. Kontrolou čistoty povrchu

je popisováno zastoupení tuhých nečistot na povrchu ať už ulpělých nebo vlastních korozních zplodin. V případě nejasných výsledků vizuální kontroly přejdeme k analýze složek na povrchu pod mikroskopem. [1]

4.3 Přílnavost

Přílnavost je jedna z nejdůležitějších vlastností povrchu pro následné ošetření ochranným povlakem. Bez zajištění dobré přílnavosti k zakotvení povlaku na základní materiál pozbývá povlak svoji funkci. Přílnavost je tedy výsledkem působení adhezních i mechanických sil vztažených na jednotku plochy, kterými je povlakový systém zakotven k povrchu základního materiálu. Odvíjí se od druhu materiálu, substrátu i povlaku, ale i od použité technologie. [1] [14]

V praxi nejčastěji vyžívaná metoda hodnocení přílnavosti organických nátěrů je zkouška mřížkovým řezem. Principem této zkoušky je proříznutí povlaku několika na sebe kolmými řezy, dlouhými minimálně 20 mm a následné přelepení speciální páskou. Po odtržení pásky zkoumáme množství nátěrové hmoty oddělené od povrchu materiálu. [1] [14]

Vzdálenost kolmých řezů je závislá na tloušťce povlaku:

- vzdálenost 1 mm pro tloušťku do 60 μm (2mm pro měkké podklady jako jsou dřevo nebo plast),
- vzdálenost 2 mm pro tloušťku 60 - 120 μm ,
- vzdálenost 3 mm pro tloušťku 120 - 250 μm . [14]

Pro vyhodnocení slouží 6 stupňů přílnavosti uvedených v tabulce 1. [14]

Další v praxi velmi často využívanou zkouškou je zkouška křížovým řezem. Jde o podobný princip jako u zkoušky mřížkové, ale řez se zde vede nátěrem ve tvaru X. Každý řez by měl být 40 mm dlouhý a řezy by spolu měli svírat úhel 30° až 45°. Po nařezání se celý řez přelepí páskou širokou 50 mm a během 5 minut se páska odtrhne. Pro vyhodnocení slouží 6 stupňů přílnavosti uvedených v tabulce 2. [14]

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování (Příklad pro šest rovnoběžných řezů)
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen	—
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5 %, ale menší než 15 %	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15 %, ale menší než 35 %	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65 %	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	—

Obr. 9 - Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky [14]

 Stupeň 0 Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.	 Stupeň 1 Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.
 Stupeň 2 Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.	 Stupeň 3 Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.
 Stupeň 4 Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.	 Stupeň 5 Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.

Obr. 10 - Klasifikace výsledků zkoušky křížovým řezem [14]

5 Návrh metodiky experimentálních prací

Pro experiment bylo použito vzorků z hliníkového plechu a plechu ze standardní nízkouhlíkové oceli s obsahem uhlíku do 15 %.

5.1 Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému

- Odmaštění, zdrsňení povrchu
- Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287 (drsnoměr Mitutoyo Surftest – 301)

5.2 Aplikace nátěrových systémů

- Nátěrový systém: Transparentní, vodou ředitelný nátěr s obsahem nanočástic
- Aplikace nátěrového systému štětcem

5.3 Zkoušky nátěrových systémů

- Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808
- Měření přilnavosti nátěrových systémů před korozní zkouškou
 - a. Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2
 - b. Křížový řez dle ČSN EN ISO 16276-2
- Korozní zkouška v solné korozní komoře dle ČSN EN ISO 9227
- Měření přilnavosti nátěrových systémů po korozní zkoušce
 - c. Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2
 - d. Křížový řez dle ČSN EN ISO 16276-2

6 Popis experimentálních prací

K našemu experimentu bylo použito vzorků z hliníku a z ocelového plechu tloušťky 1 mm a rozměrech 100 x 200 mm. Tyto vzorky byly odmaštěny pomocí přípravku SIMPLE GREEN zředěného vodou v poměru 1:10 a po odmaštění sušeny. Následně bylo na polovině ocelových a polovině hliníkových vzorků provedeno zdrsňení povrchu pomocí smirkového papíru o drsnosti 80. V další fázi experimentu proběhlo měření drsnosti povrchu pomocí drsnoměru Mitutoyo Surftest – 301. Následně byl štětcem aplikován nátěrový systém. Pomocí zubové měrky pro měření mokré tloušťky nátěrů bylo provedeno měření tloušťky mokré vrstvy nátěru. Po řádném zaschnutí nátěru byla na několika vzorcích zkoumána přilnavost nátěrového systému a to mřížkovou zkouškou a zkouškou křížovým řezem. Zbývající vzorky byly vystaveny agresivnímu prostředí v korozní komoře. Po dostatečně dlouhé expozici v korozní komoře byla na těchto vzorcích opět zkoumána přilnavost nátěrového systému.

6.1 Příprava vzorků

Použili jsme čtyři různé druhy vzorků ze dvou různých materiálů. Vzorky byly dodány firmou LABIMEX CZ s.r.o. Použili jsme vzorky hliníkové a ocelové s následujícím označením:

- typ A-48 – hliníkové vzorky
- typ R-48 – standardní ocelové vzorky.

6.1.1 Vzorky typu A-48

Na tyto vzorky byl použit hladký, válcovaný plech označený A-48 o rozměrech 102x203 mm a tloušťky 0,64 mm. V následující tabulce je uvedeno jeho chemické složení.

Tabulka 1 - Chemické složení vzorků typu A-48

Prvek	C	Fe	Mn	Si	Zn	ostatní
Max [%]	0,05-0,20	0,70	1,0-1,50	0,60	0,10	0,15

6.1.2 Vzorky typu R-48

Tyto vzorky byly zhotoveny z nízkouhlíkového ocelového plechu. Jsou dodávány ve formátu 102x203 mm a tloušťce 0,81 mm. V následující tabulce je uvedeno chemické složení tohoto zkušebního materiálu.

Tabulka 2 - Cemické složení vzorků typu R-48

Prvek	C	Mn	P	S
Max [%]	0,15	0,6	0,30	0,35

6.1.3 Označování vzorků

Materiál

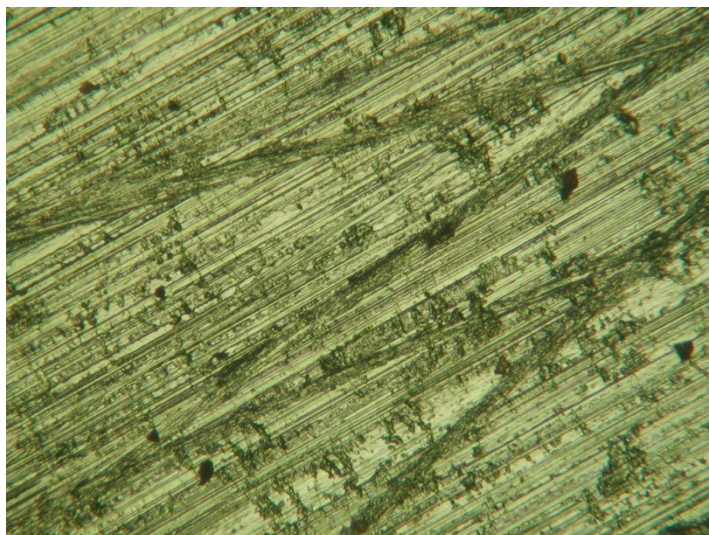
- Al – hliníkové vzorky z materiálu A-48
- S – vzorky ze standardního ocelového plechu R-48.

Povrchová úprava provedená na materiálu

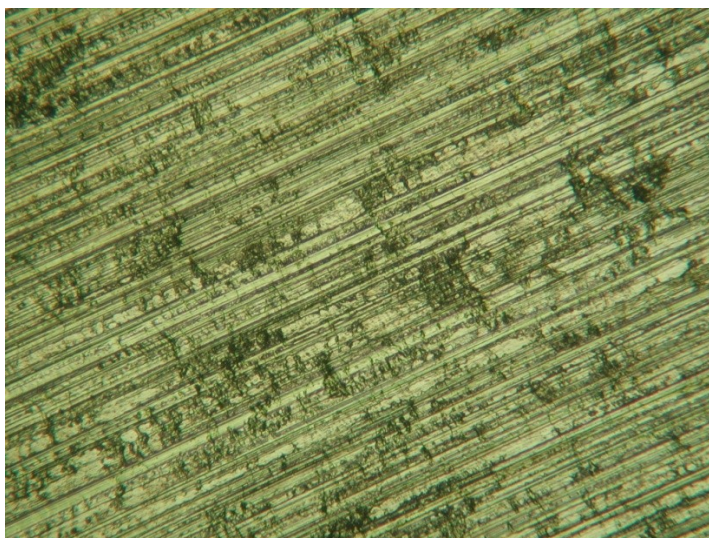
- Č – čistý, odmaštěný, sušený povrch
- D – zdrsňený povrch smirkovým papírem, odmaštěný, sušený.

Následné číselné označení vzorků 1-4 slouží k rozlišení vzorků od sebe.

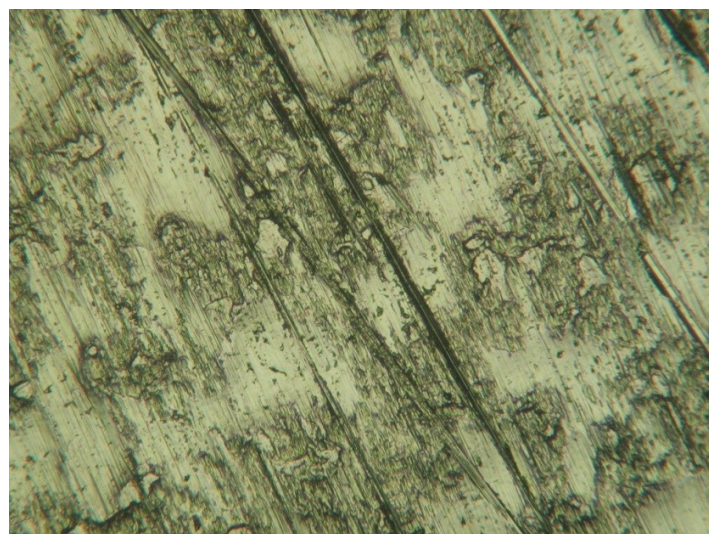
Všechny vzorky byly odmaštěny v lázni s přípravkem SIMPLE GREEN zředěného vodou v poměru 1:10 o pH = 10,49. Po každém odmašťování následovalo sušení při teplotě 100 °C po dobu 20 minut. Polovina hliníkových a ocelových vzorků bylo ponecháno odmaštěných, a na druhé polovině vzorků bylo provedeno zdrsňení povrchu pomocí smirkového papíru o drsnosti 80. Na níže uvedených obrázcích můžeme vidět snímky povrchů všech čtyř druhů vzorků pod optickým mikroskopem Neophot 2 při osmdesátinásobném zvětšení. Na snímcích povrchů zdrsňených vzorků jsou zřetelné škrábance jako stopy po zdrsňování povrchu.



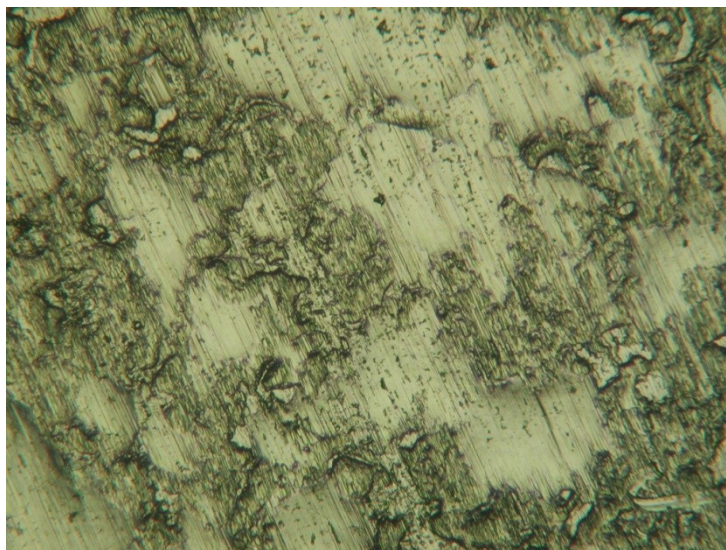
Obr. 11 - Vzorek hliník zdrsňený 80x zvětšeno



Obr. 12 - Vzorek hliník nezdrsňený 80x zvětšeno



Obr. 13 - Vzorek ocel zdrsňený 80x zvětšeno



Obr. 14 - Vzorek ocel nezdrsněný 80x zvětšeno

6.2 Měření drsnosti povrchu vzorků

Před nanesením nanopovlaku byla na všech čtyřech druzích vzorků měřena drsnost jejich povrchu dle ČSN EN ISO 4287, s vyžitím drsnoměru Mitutoyo Surftest – 301. Na každém vzorku bylo provedeno 5 měření. Z naměřených hodnot byly následně stanoveny hodnoty průměrné.

Tabulka 3 - Drsnost hliník zdrsněný (A1D)

Vzorek	Hliník zdrsněný, $\lambda_c = 2,5$ mm, $l = 12,5$ mm							
Měření	Ra[μ m]	Rz[μ m]	Rq[μ m]	Rp[μ m]	Rv[μ m]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo[mm]
1	0,72	4,36	0,93	3,32	3,34	-0,31	4,16	2,513
2	1,23	8,11	1,83	9,10	6,31	0,74	11,33	2,525
3	0,16	0,83	0,21	0,74	0,53	0,55	4,25	2,499
4	1,06	6,82	1,53	5,77	6,91	-0,76	10,10	2,519
5	0,95	6,03	1,39	6,38	4,25	0,82	9,66	2,521
Průměr	0,824	5,23	1,178	5,062	4,268	0,208	7,9	2,5154
Minimum	0,16	0,83	0,21	0,74	0,53	-0,31	4,16	2,499
Maximum	1,23	8,11	1,83	9,10	6,91	0,82	11,33	2,525

Tabulka 4 - Drsnost hliník nezdrsněný (AlČ)

Vzorek	Hliník nezdrsněný, $\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$, $l = 12,5 \text{ mm}$							
Měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Rq[μm]	Rp[μm]	Rv[μm]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo[mm]
1	0,86	3,81	1,16	2,56	3,90	-0,10	4,55	2,508
2	0,55	2,72	0,66	1,46	1,94	-0,10	2,40	2,510
3	0,96	4,20	1,22	2,92	3,03	0,10	2,99	2,510
4	0,48	2,47	0,58	1,17	1,87	-0,29	2,66	2,507
5	0,52	2,72	0,62	1,35	1,81	-0,21	2,50	2,508
Průměr	0,674	3,184	0,848	1,892	2,51	-0,12	3,02	2,5086
Minimum	0,48	2,47	0,58	1,17	1,81	-0,29	2,40	2,507
Maximum	0,96	4,20	1,22	2,92	3,90	0,10	4,55	2,510

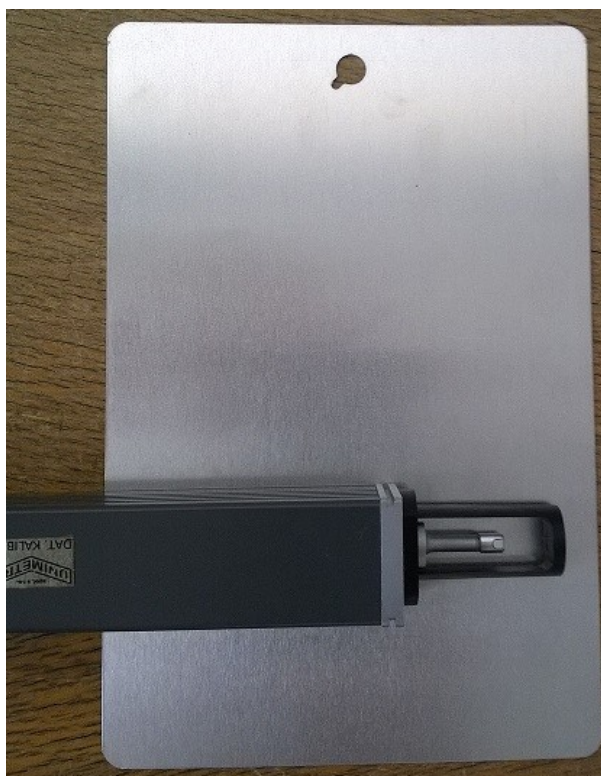
Tabulka 5 - Drsnost ocel zdrsněný (SD)

Vzorek	Ocel zdrsněný, $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$							
Měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Rq[μm]	Rp[μm]	Rv[μm]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo[mm]
1	1,14	4,28	1,42	3,62	2,99	0,32	2,69	0,807
2	0,80	3,17	0,98	2,36	2,56	0,03	2,67	0,806
3	0,75	3,07	0,94	2,32	1,96	0,39	2,78	0,806
4	0,67	3,07	0,83	2,45	2,12	0,04	2,85	0,807
5	0,81	3,29	1,00	2,89	1,69	0,45	3,20	0,806
Průměr	0,834	3,376	1,034	2,728	2,264	0,246	2,838	0,8064
Minimum	0,67	3,07	0,83	2,32	1,69	0,03	2,67	0,806
Maximum	1,14	4,28	1,42	3,62	2,99	0,45	3,20	0,807

Tabulka 6 - Drsnost ocel nezdrsněný (SČ)

Vzorek	Ocel nezdrsněný, $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$							
Měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Rq[μm]	Rp[μm]	Rv[μm]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo[mm]
1	1,08	3,66	1,28	2,73	2,23	0,23	2,16	0,806
2	1,11	3,55	1,35	3,14	2,28	0,37	2,57	0,805
3	0,88	3,14	1,08	2,50	1,96	0,57	2,62	0,805
4	0,77	3,08	0,99	2,69	1,83	0,50	3,21	0,805
5	1,05	3,93	1,34	3,66	2,63	0,49	3,06	0,807
Průměr	0,978	3,472	1,208	2,944	2,186	0,432	2,724	0,8056
Minimum	0,77	3,08	0,99	2,50	1,83	0,23	2,16	0,805
Maximum	1,11	3,93	1,35	3,66	2,63	0,57	3,21	0,807

Měření bylo provedeno pouze na jednom z každého druhu vzorků. Ostatní vzorky byly natřeny nátěrovým systémem a po dostatečném zaschnutí byly exponovány v korozní komoře. Předpokládám, že opakovaným měřením na jiném vzorku se stejnou úpravou bychom získali velmi podobné průměrné hodnoty, a tedy že měření drsnosti povrchu vždy jednoho vzorku se specifickou úpravou je dostačující.

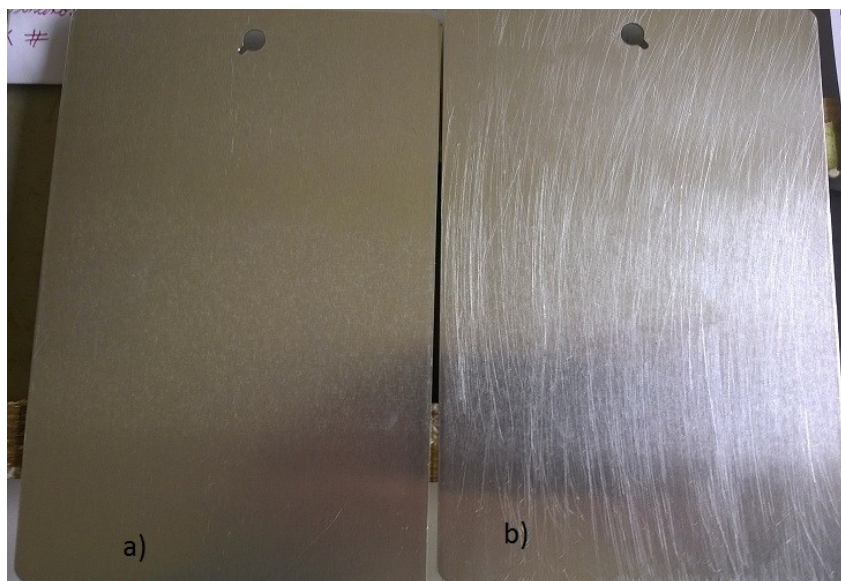


Obr. 15- Měření drsnosti

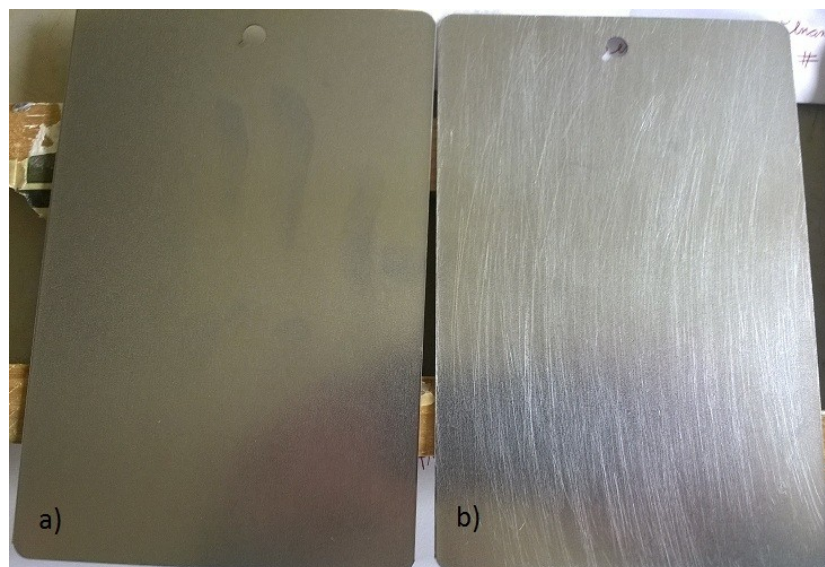


Obr. 16 - drsnoměr Mitutoyo Surftest – 301

Na obrázcích výše můžeme vidět drsnoměr Mitutoyo Surftest – 301 a průběh měření na hliníkovém nezdrsněném vzorku. Na obrázcích níže jsou zachyceny vzorky samotné, na nichž měření drsnosti probíhalo. Na obrázku 16 jsou společně dva hliníkové vzorky, vlevo bez zdrsnění povrchu a vpravo se zdrsněným povrchem, stejně tak jsou uspořádány vzorky na obrázku 17, tyto vzorky však nejsou hliníkové, ale ocelové.



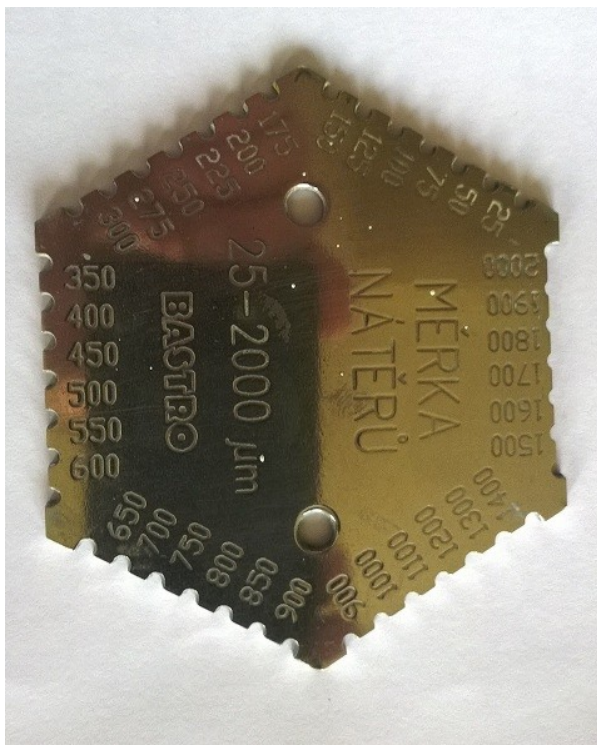
Obr. 17 - Vzorky hliník – a) nezdrsněný, b) zdrsněný



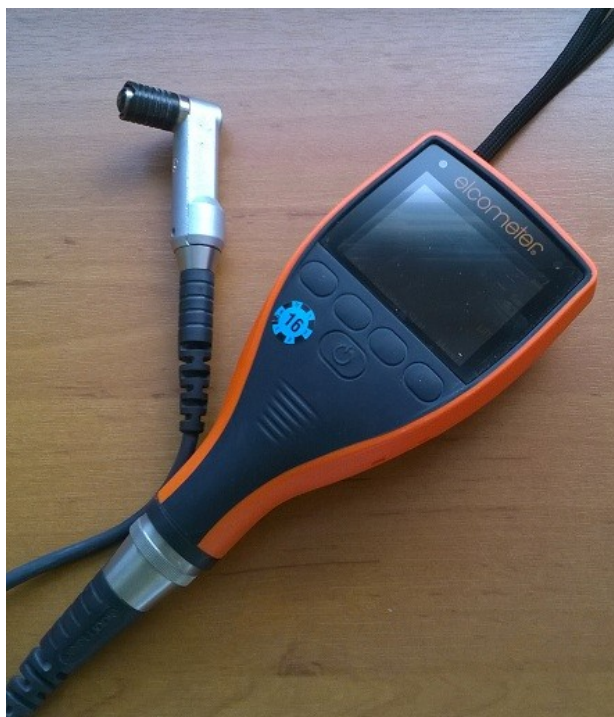
Obr. 18 - Vzorky ocel- a) nezdrsněný, b) zdrsněný

6.3 Nanášení a měření tloušťky nátěrového systému

Na zbývajících 20 vzorků (5 každého druhu tedy ocelový zdrsněný nezdrsněný, hliníkový zdrsněný a nezdrsněný) byl nanesen pomocí štětce nátěrový systém. Tloušťka mokré nátěrové vrstvy byla změřena pomocí zubové měrky pro měření mokré tloušťky nátěru BASTRO a pohybovalo se v rozmezí od 150 – 175 μm . Tloušťka suché nátěrové vrstvy byla změřena elektronickým měřicím přístrojem elcometer. Na 16 vzorcích (4 každého druhu) proběhlo 12 měření, tyto vzorky byly následně umístěny do korozní komory. Na zbývajících 4 vzorcích (1 každého druhu) proběhlo 10 měření. Na těchto vzorcích byly následně prováděny zkoušky přilnavosti.



Obr. 19 – Zubová měrka pro měření mokré tloušťky nátěrů



Obr. 20 – Elcometer

Na obrázku 17 můžeme vidět zubovou měrku pro měření mokré tloušťky nátěrů BASTRO, která byla použita k měření tloušťky mokrého nátěrového systému a na obrázku 18 je zachycen elektronický, měřicí přístroj elcometer pro měření tloušťky suché vrstvy naneseného nátěrového systému.

V následující tabulce jsou zapsány výsledky měření tloušťky suchého nátěrového systému na ocelových vzorcích před expozicí v korozní komoře. Označování vzorků bylo zvoleno následovně: S – standardní materiál (ocel), Al – hliníkový materiál, D – drsněný, Č -nezdrsněný (čistý) a číslo vzorku. Na vzorcích s číslem 1 a 3 byl před expozicí v korozní komoře proveden dlouhý svislý řez pro narušení nátěrového systému pro následné experimenty.

Tabulka 7 - Tloušťky suchých nátěrů ocel

Vzorek	SD1	SD2	SD3	SD4	SČ1	SČ2	SČ3	SČ4
Počet měření n	12	12	12	12	12	12	12	12
Průměrná l [μm]	25,28	14,76	27,93	35,63	26,1	32,84	41,33	35,65
Maximální l [μm]	31,7	20,2	35,6	56,3	36,1	57,7	51,00	48,00
Minimální l [μm]	16,4	5,9	21,3	24,8	19,8	11,00	18,30	26,4

V následující tabulce jsou zapsány výsledky měření tloušťky suchého nátěrového systému na hliníkových vzorcích před expozicí v korozní komoře.

Tabulka 8 - Tloušťky suchých nátěrů hliník

Vzorek	AID1	AID2	AID3	AID4	AIČ1	AIČ2	AIČ3	AIČ4
Počet měření n	12	12	12	12	12	12	12	12
Průměrná l [μm]	20,78	16,68	19,92	20,85	26,73	29,32	40,83	21,04
Maximální l [μm]	49,00	40,9	22,7	48,3	36,7	42,9	78,6	41,2
Minimální l [μm]	8,7	3,3	15,6	2,9	10,5	21,1	11,3	11,3

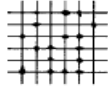
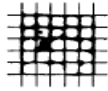

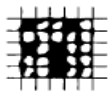
V následující tabulce jsou zapsány výsledky měření tloušťky suchého nátěru na 4 vzorcích, každý jednoho druhu, které nebyly umístěny do korozní komory, ale byly na nich provedeny zkoušky přílnavosti a to zkouška mřížková a zkouška křížovým řezem. Na těchto vzorcích bylo provedeno pouze 10 měření.

Tabulka 9 - Tloušťky suchých nátěrů pro zk. přilnavosti

Vzorek	SČ	SD	AIČ	AID
Počet měření n	10	10	10	10
Průměrná l [μm]	32,58	29,72	38,5	30,68
Maximální l [μm]	47,6	44,6	53,0	64,2
Minimální l [μm]	26,7	11,3	8,1	1,6






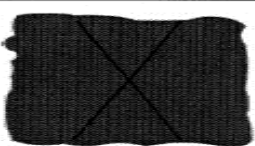
6.4 Mřížková zkouška, zkouška křížovým řezem

Byla provedena Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2. Podle tloušťky naneseného nátěrového filmu nepřesahující 60 μm byly stanoveny vzdálenosti jednotlivých řezů od sebe na 1 mm. Bylo provedeno 6 svislých řezů a následně 6 na ně kolmých vodorovných řezů. Následně byla nalepena izolační páska a po řádném uhlazení byla odtržena. Zkouška byla prováděna třikrát na jednom vzorku. Výsledky byly vyhodnoceny dle ČSN EN ISO 16276-2.

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování (Příklad pro šest rovnoběžných řezů)
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen	–
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5 %, ale menší než 15 %	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15 %, ale menší než 35 %	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65 %	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	–

Obrázek 21 - Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky [14]

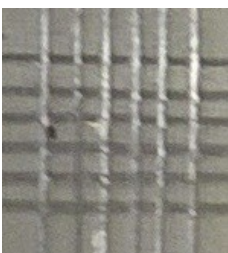
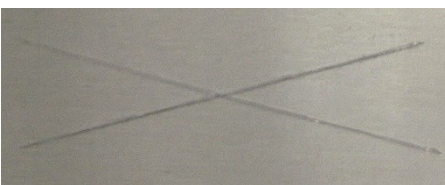
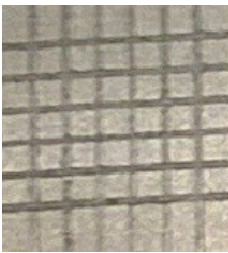
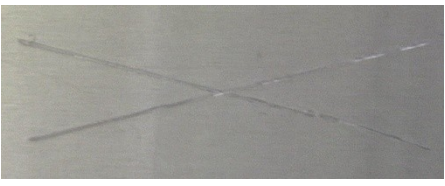
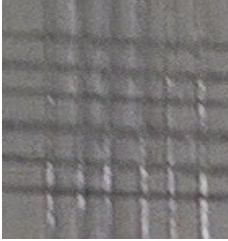

Dále jsme provedli zkoušku křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2. Na jednotlivých vzorcích byl vytvořen řez ve tvaru X. Každý řez by měl být dlouhý asi 40 mm a měly by spolu svírat úhel 30° - 45°. Po provedení řezů na ně byla nalepena izolační páska, která byla po řádném přitíštění na řezy stržena. Zkouška byla prováděna rovněž třikrát na každém vzorku a následně byla vyhodnocena dle ČSN EN ISO 16276-2.

 <p>Stupeň 0 Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.</p>	 <p>Stupeň 1 Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.</p>
 <p>Stupeň 2 Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.</p>	 <p>Stupeň 3 Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.</p>
 <p>Stupeň 4 Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.</p>	 <p>Stupeň 5 Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.</p>

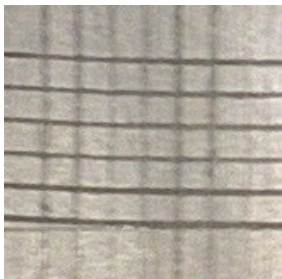

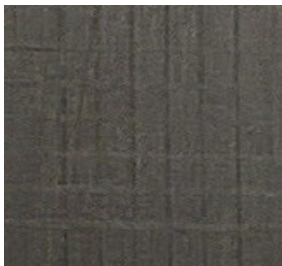
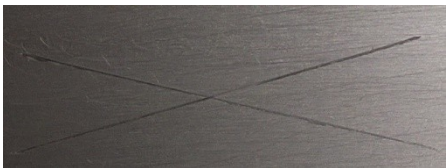
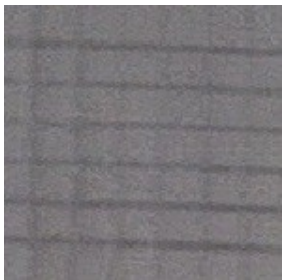

Obrázek 22 - Klasifikace výsledků zkoušky křížovým řezem [14]

V následujících tabulkách jsou zaznamenány výsledky zkoušek přilnavosti před korozní zkouškou.

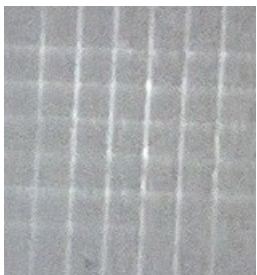
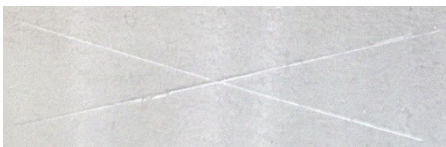
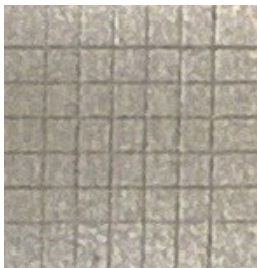
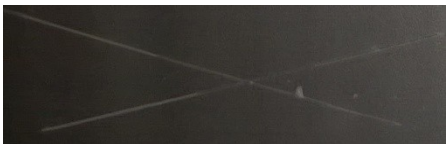
Tabulka 10 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek hliníkový nezdrsněný (AlČ)

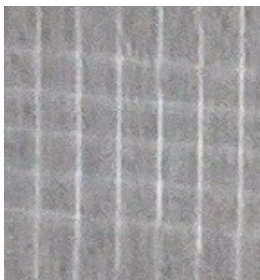
Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AlČ			0	0
			0	0
			0	0

Tabulka 11 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek hliníkový zdrsňený (AID)


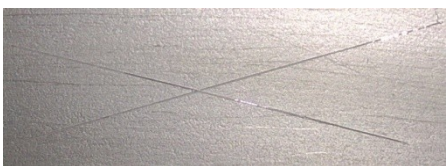

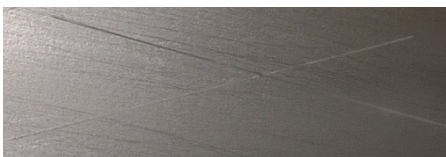


Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AID			0	0
			0	0
			0	0

Tabulka 12 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek standardní ocelový nezdrsňený (SČ)

Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
SČ			0	0
			0	0

			0	0
--	---	--	---	---

Tabulka 13 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek standardní ocelový zdrsňený (SD)

Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
SD			0	0
			0	0
			0	0

Vzorky vykazovali velmi dobré adhezní vlastnosti, na žádném ze vzorků nedošlo k odtržení ani malé části nátěrového systému, dle mého názoru je to zapříčiněno důkladným odmaštěním povrchu vzorků.

6.5 korozní zkouška

Zbývající vzorky (4 každého druhu) byly umístěny do korozní komory. Zde byly vystaveny agresivnímu prostředí po celkovou dobu 100 hodin. Již po 24 hodinách byly na vzorcích ze standardního ocelového plechu patrné známky koroze. Objevovaly se zde rezavé skvrny a na vzorcích opatřených svislým řezem za účelem porušení nátěrového systému (vzorky označené čísly 1 a 3), bylo zřejmé, že se koroze dostává i pod ochranný nátěrový systém. Na vzorcích z hliníku nebyly žádné známky koroze díky korozní odolnosti hliníku samotného.

Po expozici 100 hodin v korozní komoře byly vzorky vyjmuty. Na vzorcích z hliníkového plechu nebyly patrné žádné známky koroze. Vzorky ze standardního ocelového plechu byly však korozi napadeny velmi silně. Většina povrchu byla pokryta korozními zplodinami, ochranný nátěrový systém byl značně podkorodovaný a prokorodovaný.

V další fázi experimentu byla znovu změřena tloušťka suchého nátěrového filmu, a to z důvodu porovnání s tloušťkou před expozicí v korozní komoře a následného zjištění úbytku nátěrového systému.

Po expozici 100 hodin v korozní komoře byly vzorky vyjmuty a osušeny. Následně proběhlo měření tloušťky suchého nátěrového systému za účelem zjištění úbytku nátěru v korozní komoře. K tomuto měření byl opět použit elektronický, měřicí přístroj elcometer, na každém vzorku bylo provedeno 10 měření. V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky měření tloušťky na vzorcích ze standardního ocelového plechu.

Tabulka 14 - Tloušťky suchých nátěrů na ocelových vzorcích po 100 hodinách v korozní komoře

Vzorek		SD1	SD2	SD3	SD4	SČ1	SČ2	SČ3	SČ4
Počet měření n		10	10	10	10	10	10	10	10
Průměrná l [μm]		27,55	24,66	59,36	34,23	35,26	45,25	49,93	42,73
Maximální [μm]	1	35,7	31,0	103,0	47,3	50,2	73,7	66,4	66,1
Minimální [μm]	1	21,1	17,3	30,50	26,6	25,3	28,6	37,4	23,3

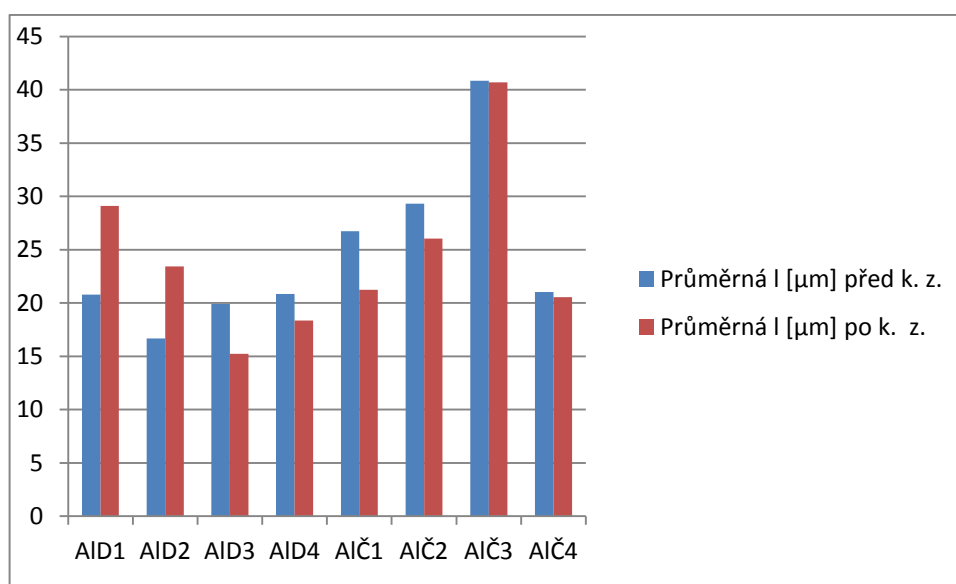
V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky měření tloušťky na vzorcích z hliníkového plechu.

Tabulka 15 - Tloušťky suchých nátěrů na hliníkových vzorcích po 100 hodinách v korozní komoře

Vzorek	AID1	AID2	AID3	AID4	AIČ1	AIČ2	AIČ3	AIČ4
Počet měření n	10	10	10	10	10	10	10	10
Průměrná l [μm]	29,11	23,43	15,22	18,36	21,24	26,05	40,70	20,54
Maximální l [μm]	47,3	34,6	22,5	29,6	42,9	40,0	62,5	38,2
Minimální l [μm]	10,1	11,4	2,5	6,0	7,0	13,3	17,6	7,2

Tabulka 16 - Srovnání suchých tlouštěk nátěrů na hliníkových vzorcích

Vzorek	AID1	AID2	AID3	AID4	AIČ1	AIČ2	AIČ3	AIČ4
Průměrná l [μm] před k. z.	20,78	16,68	19,92	20,85	26,73	29,32	40,83	21,04
Průměrná l [μm] po k. z.	29,11	23,43	15,22	18,36	21,24	26,05	40,7	20,54



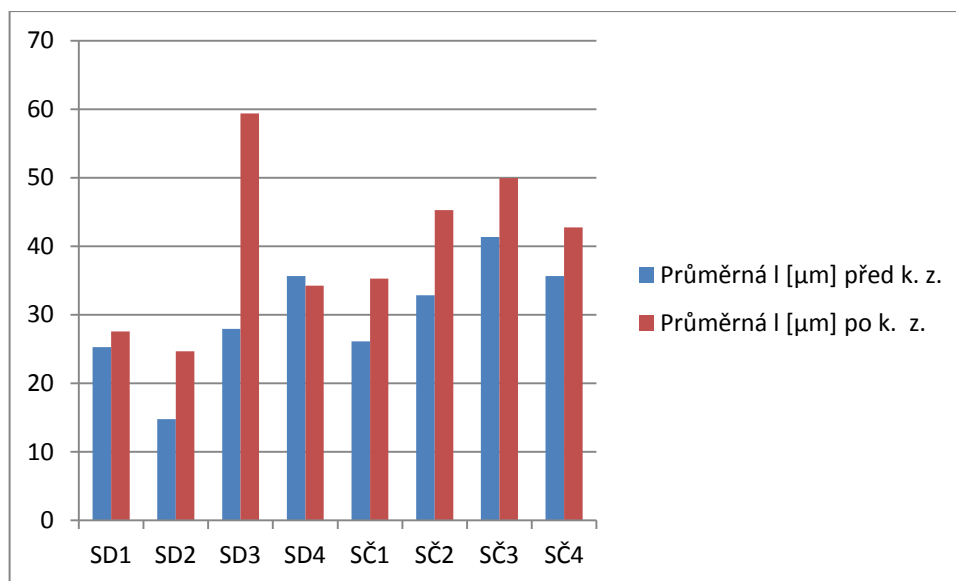
Graf 1 - Srovnání suchých tloušťek nátěrů na hliníkových vzorcích

Z tabulky a grafu je patrné, že naměřené tloušťky suchých nátěrů před a po korozní zkoušce se příliš neliší. K výraznému úbytku nátěru na hliníkových vzorcích tedy nedošlo, což je způsobeno chemickými vlastnostmi hliníku, které zaručují výbornou korozní odolnost. Odchyłky v naměřených hodnotách jsou způsobeny měřením samotným, tedy měřením v odlišných místech kde mohou naměřené tloušťky lišit velmi výrazně.

V následující tabulce jsou srovnány naměřené hodnoty na vzorcích ze standardního ocelového plechu.

Tabulka 17 - Srovnání suchých tloušťek nátěrů na standardních ocelových vzorcích

Vzorek	SD1	SD2	SD3	SD4	SČ1	SČ2	SČ3	SČ4
Průměrná l [μm] před k. z.	25,28	14,76	27,93	35,63	26,1	32,84	41,33	35,65
Průměrná l [μm] po k. z.	27,55	24,66	59,36	34,23	35,26	45,25	49,93	42,73



Graf 2 - Srovnání suchých tloušťek nátěrů na standardních ocelových vzorcích

V tomto případě jsou rozdíly v tloušťkách větší. Může to být důsledek odlišností v měření jako u hliníkových vzorků, ale dle mého názoru zde vznikly rozdíly v důsledku korozních zplodin, nečistot a usazených solí na povrchu materiálu. Důkazem by mohly být vyšší naměřené hodnoty před korozní zkouškou než po ní. Pravděpodobně přístroj naměří i vrstvu usazených nečistot a solí a nedokáže rozlišit hranici mezi nečistotami a nátěrem samotným. V následujících tabulkách jsou vyhodnoceny korozní zkoušky ve dvou časových úsecích. Byl hodnocen stupeň prorezavění a puchýřkování, u vzorků s řezem i delaminace a koroze v okolí řezu. Vyhodnocení bylo provedeno porovnáním s obrazovými standardy popsanými v normě ČSN EN ISO 4628.

Tabulka 18 - Vyhodnocení korozní zkoušky - vzorky bez řezu

Vzorek	Stupeň prorezavění		Stupeň puchýřkování	
	Po 24 h	Po 100 h	Po 24 h	Po 100 h
AlČ2	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
AlČ4	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
AlD2	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
AlD4	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
SČ2	Ri 4(S3)	Ri 5(S3)	4(S3)	4(S3)
SČ4	Ri 4(S2)	Ri 5(S3)	4(S3)	4(S4)
SD2	Ri 4(S3)	Ri 5(S3)	4(S3)	4(S3)
SD4	Ri 4(S3)	Ri 5(S4)	4(S3)	4(S3)

Tabulka 19 - Vyhodnocení korozní zkoušky - vzorky s řezem

Vzorek	Stupeň prorezavění		Delaminace/koroze v okolí řezu		St. puchýřkování	
	po 24 h	po 100 h	po 24 h	po 100 h	Po 24 h	Po 100 h
AlČ1	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
AlČ3	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
AlD1	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
AlD3	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
SČ1	Ri 4(S4)	Ri 5(S4)	1/1	2/3	4(S3)	3(S4)
SČ3	Ri 4(S3)	Ri 4(S4)	1/0	2/2	3(S3)	4(S4)
SD1	Ri 4(S4)	Ri 5(S4)	2/1	2/5	3(S3)	4(S4)
SD3	Ri 4(S4)	Ri 4(S4)	1/1	2/4	3(S3)	4(S3)

Tabulka 20 - Parametry v korozní komoře při korozní zkoušce

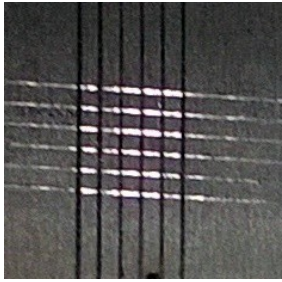

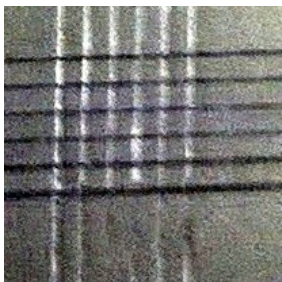

Parametry korozní komory LEIBSCH S400 M-TR	
Tlak vzduchu	0,3 – 0,4 MPa
Tlak vody	0,25 – 0,3 MPa
Průtok vody	0,45 l/hod
Teplota prostředí	35 ± 2 °C
Teplota navlhčovače	55 °C
Vlhkost	100%

6.6 Mřížková zkouška, zkouška křížovým řezem po korozní zkoušce

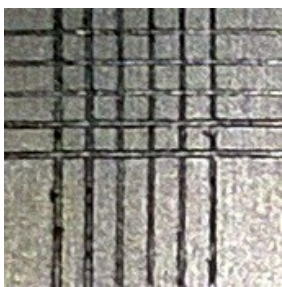

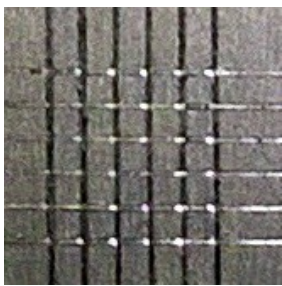

Další fází experimentu bylo vyzkoušet přilnavost na vzorcích po expozici 100 hodin v korozní komoře. Byly provedeny tři mřížkové zkoušky a tři zkoušky křížovým řezem. Na vzorcích opatřených svislým řezem byla provedena každá z těchto zkoušek pouze dvakrát. Dle tloušťky nátěrového filmu byly vzdálenosti řezů u mřížkové zkoušky stanoveny na 1 mm (tloušťka do 60μm). Zkoušky přilnavosti bylo možné však provést pouze na hliníkových vzorcích. Vzorky ze standardního ocelového plechu byly po 100 hodinách v korozní komoře, což odpovídá asi sedmnácti měsícům ve venkovním prostředí, zasaženy korozi tak silně, že nebylo možné tyto zkoušky provést. Značná část povrchu byla pokryta korozními zplodinami odpovídající stupni prorezavění Ri 5 dle normy ČSN EN ISO 4628, tedy 40 až 50 % povrchu vzorku. Z důvodu tak silného napadení korozi nebylo možné zkoušky přilnavosti provést. Nebylo možné ani korozní zplodiny odstranit

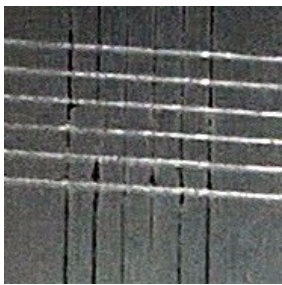
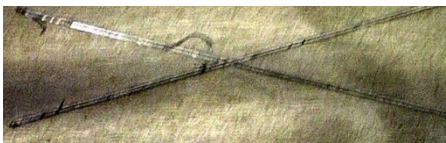
z povrchu materiálu aniž by došlo k poškození ochranného nátěrového systému. V následujících tabulkách jsou zaznamenány výsledky zkoušek přilnavosti na hliníkových vzorcích (AlČ1-4, AlD1-4).

Tabulka 21 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek AlČ1

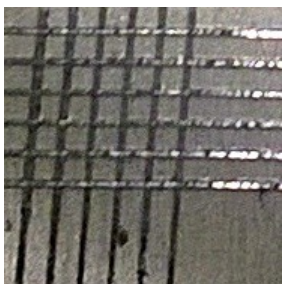

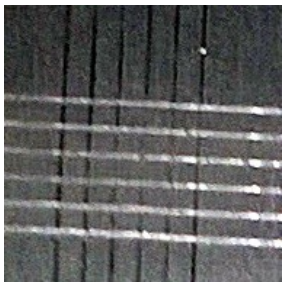

Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AlČ1 (řez)			0	0
			0	0

Tabulka 22 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek AlČ2

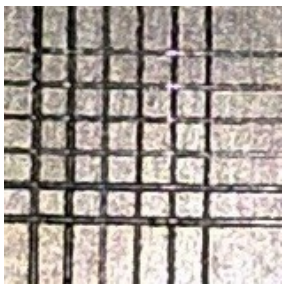



Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AlČ2			0	0
			0	0

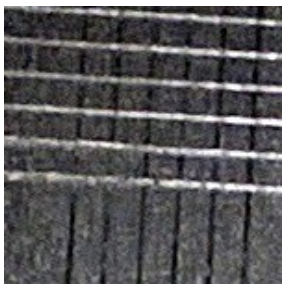
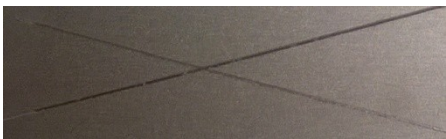
			0	0
--	---	--	---	---

Tabulka 23 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek AlČ3

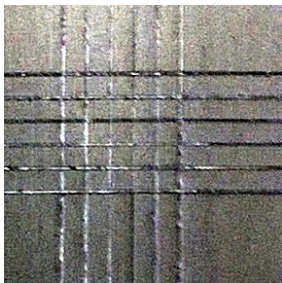
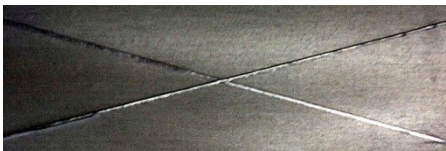
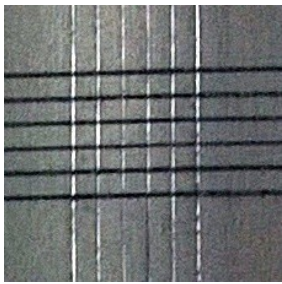

Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AlČ3 (řez)			0	0
			0	0

Tabulka 24 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek AlČ4

Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AlČ4			0	0
			0	0

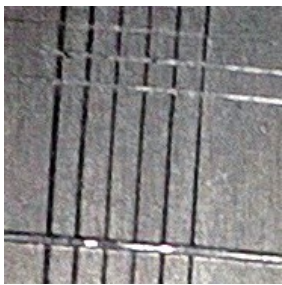

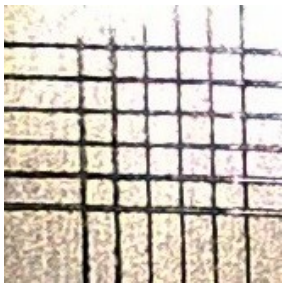

			0	0
--	---	--	---	---

Tabulka 25 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek A1D1

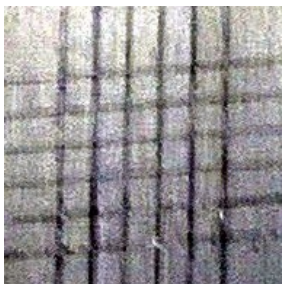
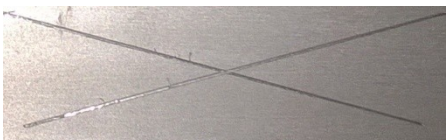
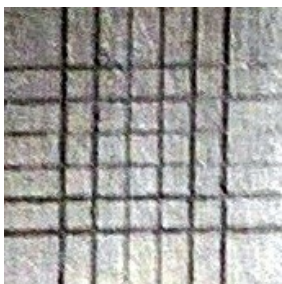
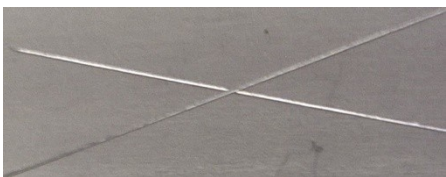
Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
A1D1 (řez)			0	0
			0	0

Tabulka 26 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek A1D2

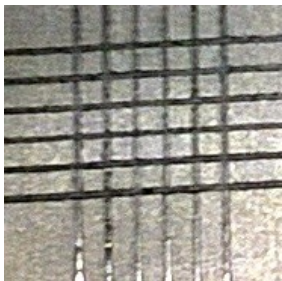
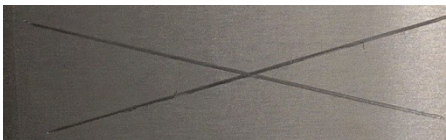

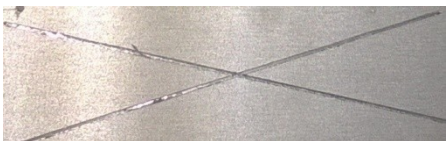
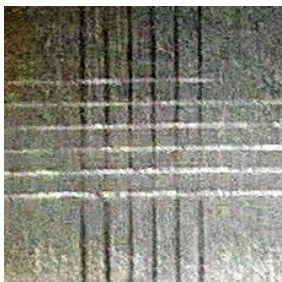
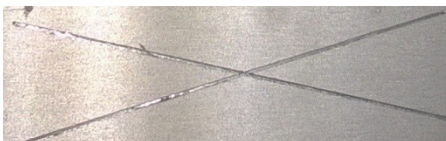
Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
A1D2			0	0

			0	0
			0	0

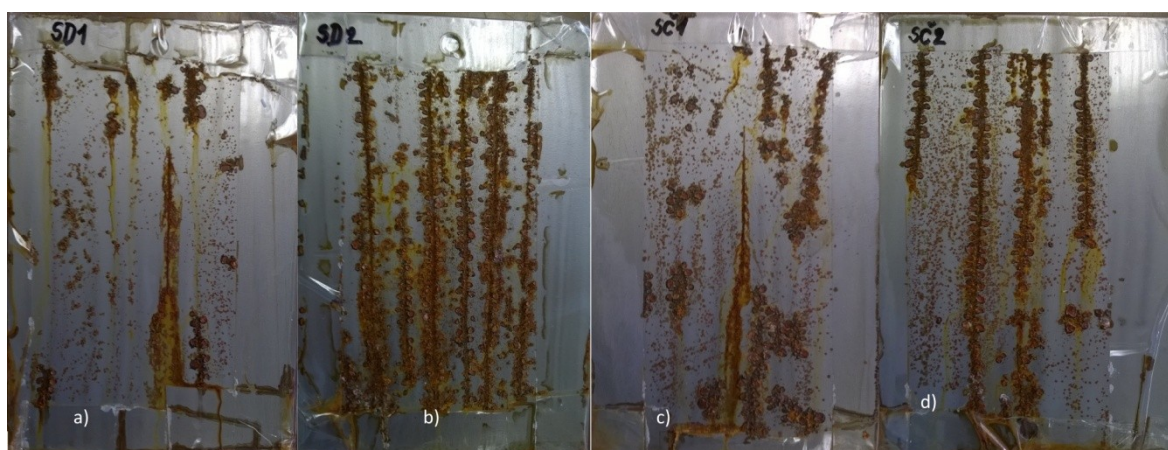
Tabulka 27 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek AID3

Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AID3 (řez)			0	0
			0	0

Tabulka 28 - Výsledky zkoušek přilnavosti - vzorek AlD4

Vzorek	Mřížková zkouška	Křížový řez	Stupeň poškození	
AlČ4			0	0
			0	0
			0	0

Na následujícím obrázku jsou ocelové vzorky po expozici 100 hodin v korozní komoře, na nichž nebyly zkoušky přilnavosti prováděny z výše uvedených důvodů.



Obrázek 23 - Standardní ocelové vzorky po expozici 100 h v korozní komoře a) zdrsňený (s řezem), b) zdrsňený (bez řezu), c) nezdrsňený (s řezem), d) nezdrsňený (bez řezu)

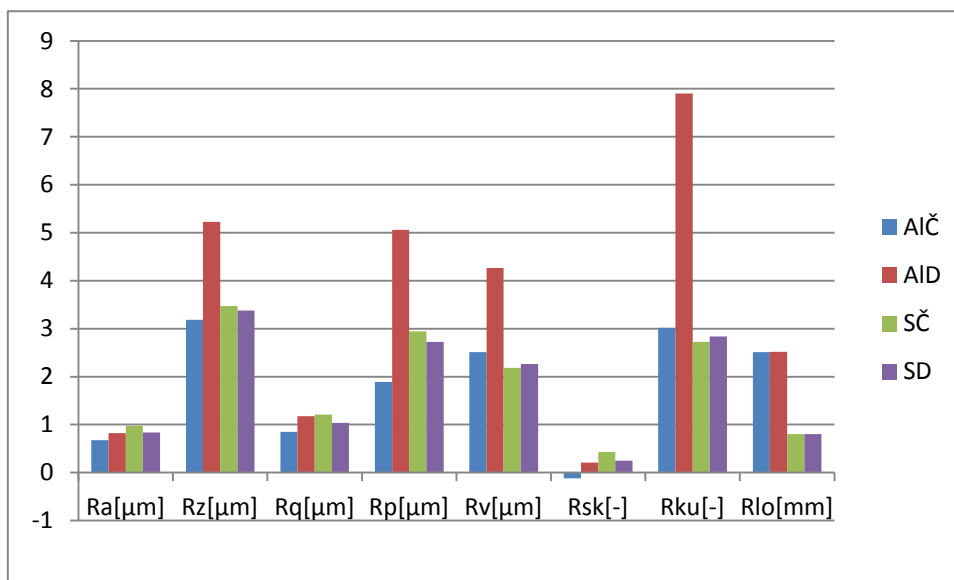
7 Celkové zhodnocení

7.1 Zhodnocení drsnosti povrchu

Bylo provedeno měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 a to za pomoci drsnoměru Mitutoyo Surftest – 301. Měření bylo provedeno vždy na jednom reprezentativním vzorku od každého druhu. Na každém vzorku bylo provedeno 5 měření, z naměřených hodnot byly následně vypočteny hodnoty průměrné. V následující tabulce jsou srovnány průměrné hodnoty naměřených parametrů na vzorcích.

Tabulka 29 - Srovnání průměrných hodnot parametrů drsnosti povrchu u všech druhů vzorků

Vzorek	Ra[μm]	Rz[μm]	Rq[μm]	Rp[μm]	Rv[μm]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo[mm]
AIČ	0,674	3,184	0,848	1,892	2,51	-0,12	3,02	2,5086
AID	0,824	5,23	1,178	5,062	4,268	0,208	7,9	2,5154
SČ	0,978	3,472	1,208	2,944	2,186	0,432	2,724	0,8056
SD	0,834	3,376	1,034	2,728	2,264	0,246	2,838	0,8064



Graf 3 - Srovnání průměrných hodnot parametrů drsnosti povrchu u všech druhů vzorků

Z grafu je patrné, že největších hodnot nabývá vzorek AID (hliníkový zdrsňený), což je zapříčiněno měkkostí hliníku a následným zdrsňováním poměrně drsným smirkovým papírem. Ocelový vzorek nevykazuje tak vysoké hodnoty, protože ocel je mnohem tvrdší, tedy smirkový papír zanechá mnohem méně hluboké stopy.

7.2 Zhodnocení suchých a mokrých tloušťek nátěrů

V další fázi bylo provedeno měření tloušťek nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808. Hodnoty tloušťky mokrého nátěrového filmu se pohybovali v rozmezí od 150 do 175 μm . Průměrné hodnoty suchého nátěrového filmu byly po deseti měřeních velmi podobné, z následující tabulky je však patrné, že maximální naměřenou tloušťku jsme získali na vzorku označeném jako AID, teda na vzorku s největším parametrem Rz.

Tabulka 30 - Srovnání tloušťek suchého nátěrového filmu.

Vzorek	AIČ	AID	SČ	SD
Minimum	8,1	1,6	26,7	11,3
Maximum	53,0	64,2	47,6	44,6
Průměr	38,5	30,68	32,58	29,72

7.3 Zhodnocení zkoušek přilnavosti před korozní zkouškou

Přilnavost před korozní zkouškou byla zkoumána na čtyřech vzorcích (1 každého druhu). Na každém vzorku byly provedeny tři mřížkové zkoušky a tři křížové řezy. Všechny vzorky vykazovali velmi dobré adhezní vlastnosti. V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky těchto zkoušek.

Tabulka 31 - Srovnání výsledků zkoušek přilnavostí před korozní zkouškou

Vzorek	Stupně poškození po mř. zk.			Stupně poškození po kř. řezech		
AIČ	0	0	0	0	0	0
AID	0	0	0	0	0	0
SČ	0	0	0	0	0	0
SD	0	0	0	0	0	0
Výsledný stupeň poškození			0	0		

7.4 Zhodnocení korozní zkoušky

Následující fázi experimentu bylo vystavení vzorků agresivnímu prostředí v korozní komoře. Do korozní komory bylo dáno 16 vzorků (4 od každého druhu), z toho polovina opatřena příčným řezem (2 od každého druhu). Vzory byly pozorovány po 24 hodinách a následně po 100 hodinách v korozní komoře. V následujících tabulkách jsou zaznamenány výsledky prorezavění a puchýřkování, na vzorcích s řezem i výsledky delaminace a koroze po 100 hodinách v korozní komoře.

Tabulka 32 - Výsledky stupně prorezavění a stupně puchýřkování na vzorcích bez řezu

Vzorek	Stupeň prorezavění		Stupeň puchýřkování	
	Po 24 h	Po 100 h	Po 24 h	Po 100 h
AlČ2	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
AlČ4	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
AlD2	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
AlD4	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0(S0)	0(S0)
SČ2	Ri 4(S3)	Ri 5(S3)	4(S3)	4(S3)
SČ4	Ri 4(S2)	Ri 5(S3)	4(S3)	4(S4)
SD2	Ri 4(S3)	Ri 5(S3)	4(S3)	4(S3)
SD4	Ri 4(S3)	Ri 5(S4)	4(S3)	4(S3)

Tabulka 33 - Výsledky stupně prorezavění, delaminace ku korozi v místě řezu a stupně puchýřkování na vzorcích opatřených řezem po 100h v korozní komoře

Vzorek	Stupeň prorezavění		Delaminace/koroze v okolí řezu		St. puchýřkování	
	po 24 h	po 100 h	po 24 h	po 100 h	Po 24 h	Po 100 h
AlČ1	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
AlČ3	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
AlD1	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
AlD3	Ri 0(S0)	Ri 0(S0)	0/0	0/0	0(S0)	0(S0)
SČ1	Ri 4(S4)	Ri 5(S4)	1/1	2/3	4(S3)	3(S4)
SČ3	Ri 4(S3)	Ri 4(S4)	1/0	2/2	3(S3)	4(S4)
SD1	Ri 4(S4)	Ri 5(S4)	2/1	2/5	3(S3)	4(S4)
SD3	Ri 4(S4)	Ri 4(S4)	1/1	2/4	3(S3)	4(S3)

7.5 Zhodnocení výsledků zkoušek přilnavosti po korozní zkoušce

Po expozici 100 hodin v korozní komoře byla na vzorcích opět zkoumána přilnavost ochranného nátěrového systému. Na vzorcích z hliníku byly provedeny zkoušky stejným postupem jako před korozní zkouškou. Na vzorcích ze standardního ocelového plechu nebylo možné tyto zkoušky provést. V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky zkoušek přilnavosti po korozní zkoušce.

Tabulka 34 - Výsledky zkoušek přilnavosti na Al vzorcích po 100 hodinách v korozní komoře

Vzorek	Stupně poškození po mř. zk.			Stupně poškození po kř. řezech			Výsl.
AlČ1	0	0	-	0	0	-	0/0
AlČ2	0	0	0	0	0	0	0/0
AlČ3	0	0	-	0	0	-	0/0
AlČ4	0	0	0	0	0	0	0/0
AlD1	0	0	-	0	0	-	0/0
AlD2	0	0	0	0	0	0	0/0
AlD3	0	0	-	0	0	-	0/0
AlD4	0	0	0	0	0	0	0/0

ZÁVĚR

V první části práce jsem se zabýval povrchem materiálu a jeho fyzikálními, chemickými a geometrickými vlastnostmi, protože dobrý kotvící profil povrchu je nezbytný k zakotvení jakéhokoli povlaku. V druhé kapitole jsem přistoupil k rozboru možných úprav povrchů. Využil jsem dělení na úpravy mechanické a chemické, rozebral různé technologie povrchových úprav a možnosti jejich provedení. Ve třetí kapitole jsem se zabýval problematikou nanotechnologie a s tím souvisejícími nanopovlaky. Dozvěděl jsem se, že nanočástice zlata a stříbra o velikosti asi 70 nm používali již staří Egypťané a Římané. V poslední kapitole jsem se věnoval čistotě a přilnavosti povrchu, které rovněž zásadním způsobem ovlivňují kvalitu následného povlaku. Na úplný závěr své teoretické části práce jsem zmínil nejčastější zkoušky přilnavosti – mřížkovou zkoušku a zkoušku křížovým řezem jejichž principem je nařezání povlaku a následné zkoumání přilnavosti odtržením lepicí pásky.

Experimentální část spočívala ve výzkumu přilnavosti transparentního, vodou ředitelného nátěru s obsahem nanočástic na vzorcích z hliníkového a standardního ocelového plechu s dvěma různými povrchovými úpravami, a to s úpravou odmaštění a s úpravou zdrsnění povrchu. Nejprve byla na vzorcích změřena drsnost povrchu. Nátěr byl aplikován štětcem, byla změřena tloušťka suchého a mokrého nátěrového filmu a následně u části vzorků zkoumána přilnavost nátěrového systému. Zbývající vzorky byly vystaveny agresivnímu prostředí v korozní komoře po dobu 100 hodin. Po vytažení z korozní komory byla opět měřena tloušťka suchého nátěrového filmu. Na závěr experimentu byly provedeny na těchto vzorcích zkoušky přilnavosti, pokud to dovolovalo množství korozních zplodin na povrchu vzorků. Zjistili jsme, že abychom dosáhli adekvátních ochranných vlastností nátěrového systému bylo by zapotřebí nanést větší vrstvu ochranného systému.

Všechny vzorky byly odmaštěny a následně na polovině vzorků z každého materiálu bylo provedeno zdrsnění povrchu. Cílem mé práce bylo prozkoumat vliv povrchové úpravy na kvalitu transparentního vodou ředitelného nátěru s obsahem nanočástic. Omezení pro použití tohoto nátěrového systému ovšem neshledávám v předběžné povrchové úpravě, ale hlavně v podkladovém materiálu samotném a dále v tloušťce nátěrového systému. Vzorky na nichž byla zkoumána přilnavost před expozicí v korozní komoře vykazovaly výborné adhezní vlastnosti. Všechny provedené zkoušky měli za výsledek stupeň poškození 0. Vzorky z hliníkového plechu vykazovali výborné adhezní vlastnosti i po expozici 100

hodin v korozní komoře a to bez ohledu na povrchovou úpravu. Zásadní roli v přilnavosti u našich vzorků hrálo odmaštění, a také korozní odolnost hliníku, díky které nedošlo k narušení nátěrového systému v korozní komoře.

Vzorky ze standardního ocelového plechu po expozici 100 hodin v korozní komoře byly značně pokryty korozními zplodinami. Byly napadeny korozí tak silně, že nebylo možné provést zkoušky přilnavosti. Stupeň prorezavění byl stanoven ve většině případů na Ri 5, tedy 40 až 50 % plochy s výskytem rzi. Nátěrový systém tedy nevykazoval v korozní komoře příliš dobré ochranné vlastnosti. Musím však přihlídnout k tomu, že vzorky byly v korozní komoře 100 hodin, což odpovídá cca 17 měsícům v agresivním atmosférickém prostředí, a nanesená vrstva ochranného nátěrového systému byla poměrně malá. Pohybovala se v průměru od 14 do 42 μm . Předpokládám, že kdyby byla nanesena na podkladový materiál větší vrstva ochranného nátěrového systému, byly by ochranné vlastnosti velmi dobré, čímž by byla velmi prodloužena korozní odolnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Povrchy a jejich úpravy*. [online]. [cit. 2015-1-7]. Dostupné na WWW. <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [2] PODJUKLOVÁ, Jitka: *Speciální technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1994. 71 s. ISBN 80 – 7078 – 235 – 8.
- [3] MOHYLA, Miroslav *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [4] ČSN ISO 8501-1 *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha: Český normalizační institut, Listopad 2007. 15 s
- [5] *Saito Brno* [online] Saito s.r.o © 2015, [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: http://eshop.saitobrna.cz/index.php?route=product/product&product_id=422
- [6] *I.D.D. abrasive* [online] © 2007 Created by Czechproduct, [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: <http://www.idda.cz/granulaty.htm>
- [7] *Abrasiv* [online] © 2015, ABRASIV akciová společnost – všechna práva vyhrazena, [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: <http://eshop.abrasiv.cz/tryskani/tryskaci-materialy/hnedy-korund/tryskaci-material-hnedy-korund-f30>
- [8] *Abrasiv* [online] © 2015, ABRASIV akciová společnost – všechna práva vyhrazena, [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: <http://eshop.abrasiv.cz/tryskani/tryskaci-materialy/ostatni-tryskaci-materialy/tryskaci-material-zinek-08-mm%5B1%5D>
- [9] *Abrasiv* [online] © 2015, ABRASIV akciová společnost – všechna práva vyhrazena, [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: <http://eshop.abrasiv.cz/tryskani/tryskaci-materialy/ostatni-tryskaci-materialy/tryskaci-material-sklenena-balotina-b10-200-300%5B1%5D>
- [10] ŘEZANKA, Pavel; ZÁRUBA, Kamil; KRÁL, Vladimír: *Potenciál modifikovaných nanočástic v analytické chemii*. [online]. [cit.2015-1-16]. Dostupné na WWW. http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_11_881-885.pdf
- [11] *Nanočástice*. [online]. [cit.2015-1-16]. Dostupné na WWW. <http://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>

- [12] DOBROVODSKÁ, Lenka; PODJUKLOVÁ, Jitka; HRABOVSKÁ, Kamila; MENŠÍKOV, VIKTOROVIČ, Vladimír: *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*. [online]. [cit.2015-1-16]. Dostupné na WWW. http://www.nanocon.eu/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/089.pdf
- [13] *Nanotechnologie a nanomateriály pro dopravu*. [online]. [cit.2015-1-18]. Dostupné na WWW. <http://projekt150.ha-vel.cz/node/132>
- [14] ČSN EN ISO 16276-2 *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, Leden 2008. 16 s
- [15] ČSN EN ISO 4287 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, Březen 1999. 22 s
- [16] DRAGANOVSKÁ, Dagmar; JANKURA, Daniel: *Moderné metódy pre vyhodnocovanie drsnosti juvenýlných povrchov* [online]. [cit.2015-5-5]. Dostupné na WWW. <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/27-2013/pdf/056-059.pdf>